



Fabricación de Celdas Solares y Baterías Orgánicas, usando como Electrolito Nanopartículas de Plata

Favio Nicolás Rosero Rodríguez
Ingeniero Físico

Universidad Nacional de Colombia

Sede Manizales

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Física y Química

Manizales, Colombia

2020

Fabricación de Celdas Solares y Baterías Orgánicas, usando como Electrolito Nanopartículas de Plata

Favio Nicolás Rosero Rodríguez

Ingeniero Físico

Memoria de Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magíster en Ciencias - Física

Director (a):

Pedro José Arango Arango

Magister en Física

Codirector (a):

Elisabeth Restrepo Parra

Doctora en Ingeniería

Laboratorio de Física del Plasma

Universidad Nacional de Colombia

Sede Manizales

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Física y Química

Manizales, Colombia

2020

El éxito se mide por el número de veces en las cuales el ser en condición de humano deja atrás cosas que en algún momento generaron crecimiento y llegan a tu vida instantes como este:

El momento final de hacer un escrito que plasme tu trabajo y tus aprendizajes, durante el desarrollo de un posgrado que alguna vez pensaste no terminar.

F-N Rosero Rodríguez

Declaración de obra original

Yo declaro lo siguiente:

He leído el Acuerdo 035 de 2003 del Consejo Académico de la Universidad Nacional. «Reglamento sobre propiedad intelectual» y la Normatividad Nacional relacionada al respeto de los derechos de autor. Esta disertación representa mi trabajo original, excepto donde he reconocido las ideas, las palabras, o materiales de otros autores.

Cuando se han presentado ideas o palabras de otros autores en esta disertación, he realizado su respectivo reconocimiento aplicando correctamente los esquemas de citas y referencias bibliográficas en el estilo requerido.

He obtenido el permiso del autor o editor para incluir cualquier material con derechos de autor (por ejemplo, tablas, figuras, instrumentos de encuesta o grandes porciones de texto).

Por último, he sometido esta disertación a la herramienta de integridad académica, definida por la universidad.

Nombre: Favio Nicolás Rosero Rodríguez

Fecha: 14/09/2020

Agradecimientos

Algunas veces, resulta difícil expresar un sentimiento honesto de agradecimiento a todas las personas que han invertido su tiempo, su energía y su apoyo en la consecución de un logro individual, académico y profesional. Así, cuando llega el momento de redactar un escrito que evidencie el desarrollo de un trabajo que en ciertos momentos pensaría en no llegar a su fin, resulta difícil nombrar a todas esas personas que estuvieron ahí, con su acompañamiento.

Sentado frente a una computadora, mostrando de la mejor manera el trabajo realizado durante esta maestría, quiero agradecer a la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, institución que me ha acogido, educado y permitido salir adelante, agradezco a mi madre quien es la guía para afrontar la vida de una forma responsable, a mi hermana por ser el ejemplo más grande de superación y ser la competencia sana e importante en el desarrollo profesional.

Rodearse de personas es importante y también agradezco a mis compañeros y compañeras del grupo de investigación de Física del Plasma (LaFip) y de Política Energética (Gipem), al departamento de Física y Química, a la facultad de ciencias exactas y naturales, a mis directores, compañeros y amigos, con los cuales cada situación es una aventura más y de los cuales aprendo cada día un poco más, además de que soportan mi particular forma de ser.

Al final, decir nombres resulta tan complicado que quiero finalizar con un gran agradecimiento hacia los que me rodean y me acompañan. También es necesario recordar con amor a las personas que extrañas día a día, pero que ya no están, por eso, aunque es difícil entender las ausencias, es necesario aceptarlas y aquí estoy yo, Favio Nicolas Rosero Rodríguez, Ingeniero Físico que aspira obtener el título de Magister en Ciencias – Física con la socialización de la siguiente tesis.

Dedicada a,

Miriam Graciela Rodríguez López

Sonia Graciela Rosero Rodríguez

† Favio Elías Rosero Izquierdo

Resumen

Se ha desarrollado la síntesis de nanopartículas de plata por un método hidrotermal asistido por microondas usando nitrato de plata como precursor, PEG400 como estabilizante y almidón como reductor, para la elaboración de un electrolito que sea versátil para ser utilizado en celdas solares orgánicas basadas en nanoalambres de óxido de zinc (ZnO-NWs) sintetizados por descomposición térmica con microondas a partir de polvo de óxido de zinc y polvo de grafito y baterías orgánicas usando: semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano. Se comprueba el funcionamiento del electrolito en celdas solares sensibilizadas con colorante (DSSc) generando valores comprendidos entre 450 mV correspondiente a la diferencia de potencial y 0,107 mA de corriente eléctrica, para la aplicación del electrolito en baterías orgánicas se obtuvieron capacidades de almacenamiento de voltaje de 1,0-1,2 y tiempos de estabilidad cercanos a los 25 segundos en potenciales de 0,1.0,4 V. El electrolito además de ser un buen conductor iónico, la presencia de PEG en su composición, permite una estabilidad en cuanto a temperatura se refiere.

Palabras clave: (Celdas DSSc, Nanoalambres, Nanopartículas, Baterías Orgánicas, Óxido de Zinc, Plata, Grafito, Polietilenglicol).

Abstract

Manufacture of Solar Cells and Organic Batteries, using Ag-NPs as Electrolyte

The synthesis of silver nanoparticles has been developed by a microwave-assisted hydrothermal method using silver nitrate as a precursor, PEG400 as a stabilizer, and starch as a reducing agent, for the elaboration of an electrolyte that is versatile to be used in organic solar cells based on nanowires. of zinc oxide (ZnO-NWs) synthesized by thermal decomposition with microwaves from zinc oxide dust and graphite dust and organic batteries using: avocado seed, sugarcane bagasse, and banana peel. The operation of the electrolyte is checked in dye-sensitized solar cells (DSSc) generating values between 450 mV corresponding to the potential difference and 0.107 mA of electric current, for the application of the electrolyte in organic batteries, voltage storage capacities of 1.0-1.2 and stability times close to 25 seconds at potentials of 0.1.0.4 V. The electrolyte, in addition to being a good ionic conductor, the presence of PEG in its composition, allows stability in terms of temperature is concerned.

Keywords: (DSSc Cells, Nanowires, Nanoparticles, Organic Batteries, Zinc Oxide, Silver, Graphite, Polyethylene Glycol).

Índice

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas.....	15
Lista de Símbolos y abreviaturas	16
Introducción	17
1. Descripción del Problema de Investigación	20
1.1 Antecedentes.....	20
1.1.1 Estado del arte: Celdas solares orgánicas	20
1.1.2 Estado del arte: Baterías	28
1.1.3 Estado del arte: Electrolitos	31
1.1.4 Estado del arte: Nanopartículas de plata	34
1.1.5 Estado del arte: Nanoalambres de óxido de zinc	37
1.1.6 Estado del arte: Materiales orgánicos	41
1.2 Identificación de vacíos de conocimiento	44
1.3 Justificación	45
1.4 Definición del problema de investigación	46
1.5 Formulación de la pregunta de investigación	48
1.6 Objetivos.....	48
1.6.1 Objetivo general.....	48
1.6.2 Objetivos específicos	48
2. Marco Conceptual.....	49
2.1 Celdas solares orgánicas.....	49
2.2 Baterías	50
2.3 Electrolitos	51
2.4 Nanopartículas de plata	52
2.4.1 Propiedades ópticas	52
2.5 Nanoalambres de óxido de zinc	52
2.5.1 Propiedades ópticas	52
2.5.2 Propiedades vibracionales	54

3. Metodología	56
3.1 Etapa 1: Electrolito	57
3.1.1 Síntesis de Ag-NPs.....	57
3.1.2 Fabricación del electrolito	59
3.2 Etapa 2: Celdas DSSC.....	60
3.2.1 Síntesis de ZnO-NWs	60
3.2.2 Fabricación de celdas DSSC	62
3.3 Baterías orgánicas	63
3.3.1 Tratamiento de materiales orgánicos (semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde).....	63
3.3.2 Fabricación de baterías orgánicas	64
4. Resultados	66
4.1 Etapa 1: Electrolito	66
4.1.1 Síntesis de Ag-NPs.....	66
Propiedades ópticas.....	66
Propiedades morfológicas	67
4.1.2 Fabricación del electrolito	68
Propiedades vibracionales	68
Propiedades ópticas.....	69
4.2 Etapa 2: Celdas DSSC.....	71
4.2.1 Síntesis de ZnO-NWs	71
Propiedades vibracionales	71
Propiedades ópticas.....	71
Propiedades morfológicas.....	73
4.2.2 Fabricación de celdas DSSC	74
4.3 Baterías orgánicas	77
4.3.1 Tratamiento de materiales orgánicos (semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde),.....	77
Propiedades vibracionales	77
Propiedades morfológicas.....	83
4.3.2 Fabricación de baterías orgánicas	85
5. Conclusiones	89
6. Perspectivas	90
7. Productos Asociados	91
8. Anexos.....	121
8.1 Técnicas de caracterización.....	121
8.1.1 Espectroscopia FTIR	121
8.1.2 Espectrofotometría Uv. Vis	122
8.1.3 Microscopia Electrónica de Barrido SEM	123
8.1.4 Espectroscopia de Impedancia Electroquímica.....	124
8.2 Curvas de voltaje individual para pilas fabricadas	125
8.3 Productos Asociados	126

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Funcionamiento celda solar orgánica sensibilizada con colorante.....	50
Figura 2. Estructura de una batería Zinc - Carbono	51
Figura 3. Nanopartículas de plata de colores variados con su correspondiente espectro de absorción [119]	52
Figura 4. Espectros Uv-Visible de nanorods de ZnO [122].....	53
Figura 5. Aproximación de tauc para microalambres de ZnO [123].....	53
Figura 6. Modos vibracionales propios de ZnO	54
Figura 7. Esquema del proceso de síntesis de Ag-NPS por método hidrotermal asistido por microondas	58
Figura 8. Esquema gráfico de fabricación de electrolito	59
Figura 9. Esquema del proceso de síntesis de ZnO-NWs mediante descomposición térmica por microondas	61
Figura 10. Esquema de Fabricación de Celdas Solares Orgánicas.....	62
Figura 11. Esquema de preparación de los materiales orgánicos	64
Figura 12. Esquema de fabricación de pilas orgánicas	65
Figura 13. Espectro de Absorbancia de nPS de Ag sintetizadas.....	66
Figura 14. a) Micrografía de Ag-NPs, b) Distribución de tamaños Ag-NPs.....	67
Figura 15. Espectro FTIR del electrolito Fabricado	69
Figura 16. Espectro de Absorción Óptica del electrolito fabricado.....	69
Figura 17. Espectro FTIR de ZnO-NWs de ZnO.....	71
Figura 18. Espectros Uv. Visible de NWS de ZnO	72
Figura 19. Extrapolación lineal análisis bandgap.....	72

Figura 20. a) NWs sintetizados en 30 s , b) NWs sintetizados en 60 s,c) NWs sintetizados en 90 s, d) NWs sintetizados en 120 s, e) NWs sintetizados en 150 s	73
Figura 21.Densidad de corriente vs voltaje generado por las celdas solares orgánicas. .	76
Figura 22.Espectro FTIR de caña de azúcar	77
Figura 23.Espectro FTIR de Cascara de Plátano	79
Figura 24.Espectro FTIR de Semilla de aguacate	81
Figura 25. Micrografías SEM de Materiales orgánicos	83
Figura 26.Curvas de Voltaje para pilas orgánicas	85
Figura 27.Análisis de Estabilidad para cada pila orgánica.....	86
Figura 28.Curvas de descarga de pilas orgánicas.....	87
Figura 29. Funcionamiento de un espectrómetro infrarrojo	121
Figura 30. Diagrama de funcionamiento de un potencióstato.....	124
Figura 31.Curvas de Voltaje para cada pila orgánica	125

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.Modos Vibracionales Clasificados	55
Tabla 2.Vidrios Conductores y su Resistencia	62
Tabla 3.Parámetros de Fabricación de Celdas solares orgánicas.....	63
Tabla 4.Composición porcentual en masa de pilas orgánicas fabricadas.....	65
Tabla 5. Relación FWHM, tiempo y centro de pico de absorción	67
Tabla 6.Correspondencia modos activados por FTIR en el electrolito fabricado [125].....	68
Tabla 7.Relación FWHM y centro de pico de absorción	70
Tabla 8.Parámetros medidos en las celdas solares orgánicas.	75
Tabla 9.Correspondencia de modos vibracionales activados en bagazo de caña [66]	78
Tabla 10.Correspondencia de modos vibracionales activados en cascara de plátano [67]	80
Tabla 11.Correspondencia de modos vibracionales activados en semilla de aguacate [68]	82
Tabla 12.Valores para m, respecto al tipo de transición	123

Lista de Símbolos y abreviaturas

<i>Abreviatura</i>	<i>Término</i>
<i>Au</i>	Oro
<i>Ag</i>	Plata
<i>ZnO</i>	Óxido de Zinc
<i>NWs</i>	Nanoalambres
<i>NPs</i>	Nanoparticulas
<i>LO</i>	<i>Longitudinal óptico</i>
<i>TO</i>	<i>Transversal óptico</i>
<i>FTIR</i>	Espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier
<i>AgNO₃</i>	Nitrato de plata
<i>PEG</i>	Polietilenglicol
<i>FWHM</i>	Ancho de altura media
<i>IPCE</i>	Eficiencia cuántica de fotocorriente interna
<i>ITO</i>	Estaño dopado con indio
<i>QD</i>	Puntos cuánticos
<i>FTO</i>	Estaño dopado con flúor
<i>AZO</i>	Oxido de zinc dopado con aluminio
<i>MOF</i>	Material metal orgánico
<i>PVP</i>	Polivinil polivirridona
<i>RGO</i>	Óxido de grafeno reducido
<i>SEM</i>	Microscopia electrónica de barrido
<i>GEI</i>	Gas de efecto invernadero
<i>BC</i>	Banda de conducción
<i>BV</i>	Banda de valencia

Introducción

La intensidad energética es un concepto ligado directamente al desarrollo económico de cada país [1], la disponibilidad de recursos como minerales y combustibles fósiles entre los cuales se encuentra el petróleo y el gas, haciendo parte de la columna vertebral del crecimiento económico y la prosperidad de cada nación [2]. Así es como el consumo energético ha tenido un crecimiento elevado en los últimos años [3], los problemas por los que ha pasado el petróleo, la escasez de recursos fósiles y el problema de contaminación ambiental generado por el uso de materiales contaminantes en la generación de energía eléctrica y la composición de metales pesados en sistemas de almacenamiento como pilas y acumuladores [4], son los puntos de partida en la motivación para el desarrollo del proyecto, donde se fabrica celdas solares sensibilizadas con colorante y nuevos prototipos de sistemas de almacenamiento reemplazando los materiales contaminantes con compuestos orgánicos.

El presente escrito muestra el desarrollo de la investigación realizada en torno a la utilización de Nanopartículas de plata como electrolito en celdas solares orgánicas y baterías orgánicas. El proyecto propuesto parte de la síntesis de Nanopartículas de plata por un método hidrotermal asistido por microondas y la aplicación de éstas como electrolito en celdas solares orgánicas basadas en nanoalambres de óxido de zinc, sintetizados por reducción térmica por microondas y también la aplicación en baterías orgánicas basadas en semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde sometidos previamente a un proceso de eliminación de humedad, los materiales que hacen parte del trabajo desarrollado tienen las respectivas caracterizaciones, vibracionales, morfológicas, ópticas y eléctricas, realizadas por las técnicas Uv.Vis, FTIR, SEM y EIS.

La investigación realizada comprende una serie de conceptos de gran relevancia, la síntesis de materiales a escala nanométrica que resulta de gran interés en el campo de

las ciencias y la investigación, ya que el comportamiento de los materiales a esta escala es muy distinto al de los materiales a escala ordinaria, debido entre otras cosas a los efectos cuánticos presentes y a que la distribución de átomos superficiales en los materiales, varía de acuerdo a la morfología de los mismos, en la investigación realizada se trabaja con dos nanoestructuras correspondientes a morfologías de nanopartículas y nanoalambres para la plata y el óxido de zinc respectivamente. La obtención de estos materiales en escalas nanométricas y morfologías establecidas conlleva el manejo de ciertos parámetros y métodos que varían de acuerdo a la capacidad de manejo, tiempo y repetitividad de los procesos, en el trabajo realizado se recurre a la síntesis de nanomateriales por métodos físicos y químicos asistidos por radiación por microondas, una técnica que resulta atractiva porque su capacidad que permite la interacción de campos eléctricos de alta frecuencia, genera un calentamiento uniforme y rápido [5].

En este orden de ideas se propone la síntesis de nanopartículas de plata por un método hidrotermal asistido por microondas para la elaboración de un electrolito que sea versátil para ser utilizado en celdas solares orgánicas y baterías orgánicas, cumpliendo un papel muy importante, puesto que es el encargado del transporte de electrones en el interior de cada sistema, además debe tener una buena estabilidad química, óptica, electroquímica y térmica a largo plazo [6]. De esta forma se comprueba el funcionamiento del electrolito en celdas solares sensibilizadas con colorante basadas en nanoalambres de óxido de zinc previamente sintetizados por reducción térmica con microondas, las celdas fabricadas generan valores comprendidos entre 450 mV correspondiente a la diferencia de potencial y 0,107 mA de corriente eléctrica, para la aplicación del electrolito en baterías orgánicas, se propuso un nuevo modelo de sistemas de almacenamiento, basados en materiales orgánicos, tales como: semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde sometidos previamente a un proceso de eliminación de humedad; para estos sistemas se obtuvieron capacidades de almacenamiento de voltaje de 1,0-1,2 y tiempos de estabilidad cercanos a los 25 s, en potenciales de 0,1-0,4 V.

Proyectando grandes ideas en cuanto a la generación y almacenamiento de energía a partir de fuentes limpias y amigables con el medio ambiente, en aras de brindar alternativas a problemas potenciales de nuestro país en cuanto a la situación energética y ambiental, se desarrolla el proyecto planteado, donde se fabrica un electrolito a partir de nanopartículas de plata y se comprueba su funcionamiento en la integración en celdas solares sensibilizadas con colorante, fabricadas con base en nanoalambres de óxido de zinc, donde además la versatilidad del electrolito permite su utilidad en la creación de nuevos prototipos de sistemas de almacenamiento reemplazando los materiales contaminantes con compuestos orgánicos provenientes de semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde. A continuación, se presenta la descripción del problema de investigación que conlleva a establecer los objetivos del trabajo, el marco conceptual, el planteamiento metodológico, los resultados y análisis, las conclusiones del trabajo y el planteamiento de las perspectivas para futuros trabajos.

1. Descripción del Problema de Investigación

El presente capítulo empieza con la descripción del estado del arte de los temas que componen el trabajo de investigación realizado, con la revisión de antecedentes se identifica los vacíos del conocimiento del proyecto, así es como se plantea la justificación, la definición del problema de investigación, la formulación de la pregunta de investigación y la definición de los objetivos del proyecto realizado.

1.1 Antecedentes

1.1.1 Estado del arte: Celdas solares orgánicas

En el año 2000 se realizó una investigación de células solares sensibilizadas con colorante; estas celdas se basaron en óxidos semiconductores nanoporosos como: TiO_2 , Nb_2O_5 , ZnO , SnO_2 y In_2O_3 con un electrolito redox I^-/I_3^- . Los resultados abrieron posibilidades de obtener altos rendimientos en la conversión de energía solar a eléctrica mediante la sensibilización con colorantes orgánicos, se utilizó mercurrocromo como tinte. Una de las conclusiones más relevantes del trabajo realizado afirma que la relación entre el tinte y el semiconductor utilizado afecta directamente en la eficiencia de los dispositivos fabricados, teniendo mejores resultados para las películas de ZnO mostrando alta eficiencia fotón-corriente incidente (IPCE), equivalente al 69%, en películas de 510 nm [7].

En suiza un año después se desarrolló una celda solar basada en absorbentes moleculares y electrodos mesoporosos, el electrolito utilizado corresponde al tipo redox. Se concluye que el tinte altera directamente el comportamiento eficiente o no del electrolito, de tal forma que se plantea una alternativo eco amigable en la generación de energía eléctrica a partir de energía solar y abre una línea a futuros trabajos enfocados al estudio de estos dispositivos que utilizan los procesos fotosintéticos en sistemas fotovoltaicos[8]

En el 2004 en Malasia se estudia el efecto de la topografía de la superficie en películas de dióxido de titanio sobre la densidad de corriente de cortocircuito de una celda solar fotoelectroquímica, como sustratos se utilizaron vidrios recubiertos de ITO. La densidad de corriente y el voltaje de los dispositivos fabricados aumentan con la disminución del tamaño de grano de las películas de TiO_2 , estos valores corresponden a $0.6 \frac{\mu\text{A}}{\text{cm}^2}$ y 109 mV respectivamente, estos valores permiten enfocar futuros trabajos a la posibilidad de aumentar eficiencias para tamaños de grano menores [9].

En el 2006 se fabricaron celdas solares tomando como electrodos, películas mesoporosas preparadas a partir de nanopartículas de $\text{ZnO}^*(\text{ZnO}-\text{C})$ y películas de electrodos monocristalinos de nanovarillas de $\text{ZnO}^*(\text{ZnO}-\text{C})$ alineadas verticalmente, las películas se realizaron con espesores similares a 2 μm con electrolito de tipo redox. El análisis demuestra que el transporte de electrones es más rápido para los electrodos compuestos por nanovarillas de $\text{ZnO}^*(\text{ZnO}-\text{C})$ y esta característica se puede atribuir a la diferencia en el número de granos de la estructura[10].

Debido a la atención que recibía el estudio de celdas solares sensibilizadas con colorante, por su modo de operación similar a la fotosíntesis, se desarrolla este trabajo en el año 2008 en Estados Unidos, por medio del cual se propone electrodos recubiertos con estructuras de morfologías similares a las plantas de tamaño nanométrico, este trabajo presenta una movilidad electrónica más eficiente por la transferencia de carga al tinte desde el electrón suministrado por el electrolito, generando de esta manera un ciclo con mayor estabilidad a largo plazo[11].

En Malasia para el año 2009, se fabricó una celda electroquímica y se midió su desempeño para 3 tipos, TiO_2 sin recubrimiento, TiO_2 recubierta con tinte rojo de metilo y TiO_2 recubierto por tinte de cumarina. La película de TiO_2 mostró la mayor densidad de corriente de cortocircuito equivalente a $0.2 \frac{\mu\text{A}}{\text{cm}^2}$ y una tensión de circuito abierto de 0,64 V, esto debido al tamaño de grano que corresponde al más pequeño

cercano a los 48 nm; el trabajo plantea un interrogante muy importante para futuros trabajos, este hace referencia a la búsqueda de una mayor compatibilidad entre el tinte, el electrolito y los electrodos[12].

En el 2019 en México se implementa un modelo mediante la integración numérica de la ecuación de continuidad electrónica para las variables de recombinación y difusión en celdas solares sensibilizadas con colorante. El modelo es aplicable para dos tipos de celdas, una basada en TiO_2 con electrolito solvente orgánico y otra en ZnO con electrolito sin disolventes. Los resultados obtenidos en este trabajo buscan unificar los trabajos teóricos y experimentales que se desarrollan en torno a las celdas orgánicas tipo DSSc, en la búsqueda de mejoras en cuanto a conversión y eficiencia energética [13].

En India para el año 2011 se desarrolla un fotoanodo para celdas solares DSSC, utilizando nanohojas de ZnO bidimensionales, con un fotosensibilizador de bajo costo y electrolito polimérico de poli óxido de etileno (PEO) modificado con nanotubos de TiO_2 . La síntesis de nanohojas de ZnO se realiza por un método hidrotermal. La eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica de los dispositivos fabricados con nanohojas de ZnO , con electrolito PEO modificado, corresponde a un 0,12%, un valor cercano a 1,5 veces mayor que el generado por celdas DSSc basadas en nanopartículas de ZnO , así al final se plantea para futuros trabajos la inclusión de colorantes más eficaces[14].

En el mismo año, China plantea un récord en eficiencia de conversión de energía correspondiente a 7.3 % para celdas DSSc usando ZnO como material fotoactivo y agregando una capa intermedia de fullereno reticulado, demostrando así que para lograr celdas solares orgánicas e inorgánicas con una eficiencia comercial, es importante la inclusión de nuevos materiales fotoactivos de tipo n y tipo p. La eficiencia obtenida en el trabajo desarrollado se debe a celdas DSSc con recubrimientos de ZnO para áreas menores a 4 mm^2 , sus perspectivas plantean el estudio de áreas mayores, de tal forma que se mantenga la estabilidad en los dispositivos [15].

España por su parte en el 2011 realiza una estimación directa de parámetro que controla la eficiencia de recolección de energía en celdas DSSc, se fabrican los dispositivos en sustratos transparentes de vidrio y mediante la estimulación directa con un láser, encontrando que la longitud de difusión de electrones aumenta con intensidad de luz, de la misma forma que ocurre cuanto el voltaje aumenta, generando así una mayor densidad de electrones en la película[16].

En Estados Unidos en el mismo año se retoma la fabricación de celdas DSSc con óxido de zinc y óxido de titanio, usando un electrolito a base de yoduro. Los resultados demuestran que las celdas DSSC de ZnO–NWs, poseen alto rendimiento en la combinación, además son altamente reproducibles. La eficiencia corresponde a 2,53 % y se asigna a la relación superficie volumen y el buen comportamiento del electrolito utilizado[17].

En España en el 2011 se estudia tres configuraciones diferentes de celdas DSSC basadas en ZnO involucrando dos colorantes y dos tipos de electrolitos a base de yoduro como mediador redox. Los resultados obtenidos sugieren que mientras la constante dieléctrica sea más baja en el material fotoactivo, la reacción inversa entre electrones inyectados y oxidados será más eficiente. Además, al hacer un estudio comparativo se concluye que la separación de cargas puede ser más difícil en celdas DSSC con ZnO que con TiO₂ [18].

Estados Unidos para el año 2012 investiga nanocables funcionalizados, de punto cuántico, debido a su potencial en cuanto a una mayor eficiencia cuántica, mayor estabilidad y vida útil en comparación a los materiales estudiados en anteriores trabajos. Conclusiones importantes hacen parte de este trabajo, una de ellas hace referencia a que la ubicación de electrolitos líquidos puede causar una degradación significativa en las estructuras analizadas, los QD mejoraron la absorción óptica en el infrarrojo cercano visible, correspondiente a su borde de absorción determinado por el tamaño QD y se abre interrogantes en cuanto al uso de otros tipos o tamaños de QD que conduzca a un rango espectral de absorción más amplio [19].

En el año 2012 en Colombia se realiza un estudio de revisión e información acerca de celdas DSSc. El trabajo plantea retos a la investigación por medio de la búsqueda de polímeros más eficientes con reactivos de menor costo y fácil acceso, también plantea la necesidad de disminuir procesos radioactivos de forma tal que no causen un daño excesivo con el medio ambiente. Otro reto consiste en la disminución de pérdida de corriente debido a los contactos eléctricos, así se busca el desarrollo viable de generación de energía eléctrica mediante celdas DSSc con el objetivo de posicionar en un futuro cercano, este tipo de dispositivos en las tecnologías utilizadas por los hogares colombianos[20].

En el año 2012 en Malasia se investiga la influencia de los colorantes orgánicos N719, N3 y Z907 en celdas DSSc basadas en nanovarillas de ZnO, usando como electrolito el par redox de yoduro. Las Celdas se sometieron a inmersión durante 6 h y se obtuvo el mejor rendimiento para los tintes orgánicos N719 y Z907, generando una densidad de cortocircuito de $1.07 \frac{mA}{cm^2}$ y una eficiencia de conversión, de 0.135% y el IPCE correspondiente de la celda fue del 41,0%. El texto cierra con la recomendación de buscar un tinte que absorba en regiones más amplias del visible [21].

En Grecia para el año 2012 se realizan películas nanocristalinas de ZnO transparentes delgadas sensibilizadas con CdS y CdSe, en este trabajo se aplicó por vez primera, un electrolito de estado casi sólido preparado con grupos de SiO₂ en ausencia de agua para la fabricación de celdas DSSc, de esta forma se obtuvo eficiencias cercanas a 4,5%, demostrando que el uso de películas de ZnO genera alta capacidad de conversión y el acompañamiento del electrolito utilizado brinda un avance importante en el campo de investigación de las celdas DSSc [22].

En estados unidos para el año 2013 se publica un artículo que trata dos de los semiconductores más utilizados en la fabricación de celdas DSSc, el ZnO y TiO₂ de tipo n y se revisa el efecto de dopantes en la búsqueda de mejoras en las propiedades eléctricas de las celdas. El texto concluye con la perspectiva de búsqueda de técnicas de dopaje en estos dispositivos que sea escalable. De tal manera que se pueda

producir celdas DSSc con características cercanas a las que se comercializan para la generación de energía eléctrica a partir de energía solar[23].

En México para el año 2013 al ver las celdas DSSc como alternativa tecnológica y económica, se fabrican dispositivos basados en ZnO con variaciones en tintes naturales provenientes del árbol de tinto, mangle y nuez, la extracción de estos se llevó acabo con etanol, agua y una solución de hidróxido de sodio. Como resultados se obtuvo una metodología de extracción de tintes a partir de árboles de tinto, mangle y nuez, además se concluye que el tinte extraído del árbol de tinto no absorbe el óxido semiconductor, mientras que el tinte del árbol de mangle se une a la superficie de la celda [24].

Grecia para el año 2013 estudia los efectos de películas semiconductoras mediante diferentes sensibilizantes usados como electrolitos, como: cumarina y rosa de bengala, se realizó la comparación de celdas compuestas de ZnO y TiO₂, obteniendo al final que las propiedades combinadas de los materiales utilizados como electrolitos pueden mejorar la eficiencia de conversión energética de las celdas DSSc, ya que los dispositivos presentaron una buena estabilidad [25].

En el 2014 en Chile se realiza un estudio de los efectos de colorantes naturales en celdas DSSc, los tintes naturales fueron extraídos por maceración, estos se obtuvieron de murta negra, zanahoria, zapallo, maqui y espinaca. Como contraelectrodo se utilizó un sustrato FTO con una película de platino, como electrodo sustratos FTO con películas de dióxido de titanio y un electrolito redox de yoduro. Los resultados mostraron mejores resultados para el tinte de la zanahoria, con una eficiencia de 0,04 % [26].

En 2014 se plantea en Francia un nuevo enfoque para el desarrollo de celdas DSSC estado sólido en vidrio / ITO y plástico sustratos (PEN / ITO), la utilización de un colorante puramente orgánico y un electrolito líquido de yodo / yoduro. Así con un fotoelectrodo de nanocables de ZnO electrodepositados, el uso de un nuevo colorante

orgánico, PK1, se muestra un proceso de absorción intensa en el rango del espectro visible, además el estudio abre grandes expectativas para la investigación de celdas DSSc fabricadas por estado sólido a bajas temperaturas[27].

En Indonesia al ver que las celdas DSSC obtienen aceptación en el campo de la investigación de ciencia y tecnología y adquieren gran éxito al ser basadas en ZnO, se preparan ZnO-NPs de 13,93 nm de diámetro, con tinte extraído de pericarpio de mangostán y electrolito I_3 de par redox. Las eficiencias obtenidas varían entre 0.03% y 0.11% , mientras que incorporando el tinte orgánico N719 se alcanza una eficiencia de 0.569%[28].

En India durante el año 2015 se estudia el rendimiento de celdas DSSC con colorante a base de betanina de remolacha roja, se hace una comparación de las eficiencias generadas por el uso de fotoelectrodos basados en Nps de ZnO con variaciones en el electrolito con ferroceno y yoduro en solución de acetonitrilo, generando eficiencias de 0.868% y 2.99% y fotoelectrodos basados en ZnO-NPs con incorporación de Au-NPs de aproximadamente 8 nm de diámetro, con eficiencias de 0.868% a 1.71% y IPCE del 14%, para las dos variaciones del electrolito[29].

En el año 2015 en China se realiza un estudio de nanoparticulas, Nanohojas y nanobarras de óxido de zinc fabricando una estructura hibrida NP/NSHS/NR para la aplicación de este compuesto como fotoanodo en celdas DSSC y se utilizó I_3 como electrolito. La eficiencia obtenida en estos dispositivos fue cercana a 6.54 %, este valor resulta más eficiente al obtenido en celdas solares DSSc con fotoanodos basados solamente en ZnO-NPs, el aumento en el valor de conversión de energía también se ve ligeramente afectado por la utilización de fluoresceína en el tinte orgánico N719 [30].

En Kazajistan durante el año 2015 se investiga el efecto de la morfología y los defectos de nanoestructuras sintetizadas a partir de ZnO sobre el rendimiento en la conversión de energía solar a energía eléctrica producido en celdas DSSc. Para el estudio se analizan nanoestructuras en forma de nanohojas y nanovarillas, en el primer caso se presentan mayores defectos en la morfología en comparación con las

nanovarillas y al realizar los análisis de voltaje de circuito abierto se concluye que a medida que aumentan los defectos en las estructuras, se presenta un voltaje de circuito abierto menor [31].

En el 2016 se demuestra en Corea, un método más sencillo en la fabricación de celdas DSSc. El proceso consiste en el crecimiento directo de nanoestructuras de ZnO sobre sustratos de vidrio ITO mediante laser pulsado, de esta forma se agiliza los procesos de fabricación de este tipo de dispositivos que generan una eficiencia global de 3.89% [32].

El 2016 se divulga la síntesis y caracterización de nuevos tintes orgánicos libres de metales (B18, CPTD-R y BTR-R), el rendimiento de estos tintes se mide en dos fotoanodos diferentes, uno de ZnO y otro de TiO₂. Los resultados demostraron que el tinte B18 tiene mejores propiedades fotovoltaicas en comparación a otros dos tintes y cada tinte tiene mayor densidad de corriente (J_{sc}) cuando se trata de las películas de ZnO a diferencia de la película de TiO₂, esto debido a mejores propiedades de transporte de electrones [33].

En el 2016 en Japón, se fabricaron celdas DSSc híbridas usando nanovarillas de ZnO dopado con aluminio (AZO), el fotoanodo se desarrolló por deposición electroquímica sobre sustratos ITO y se utilizó cloruro como electrolito. Las nanovarillas de ZnO poseen diámetros alrededor de 40 a 60 nm, entre los resultados más importantes se encuentra que las energías de banda prohibida estimadas aumentan para un mayor contenido de dopante de Al y la eficiencia de conversión de energía corresponde a 1,71% [34].

En el 2017 en Irán se crea una celda DSSc mediante un contraelectrodo basado en nanoestructuras de grafeno, específicamente nanohojas que se depositaron en sustratos de vidrio FTO, las nanoestructuras fabricadas fueron modificadas electroquímicamente con Nanopartículas de plata, obteniendo nanoestructuras compuestas de grafeno y plata. Los resultados fueron bastante importantes para la

conversión de energía generando una eficiencia de 4.23 % y una densidad de corriente cercana a $12.7 \frac{mA}{cm^2}$, además la presencia de grafeno en el nanocompuesto, brinda estabilidad notable en el aire durante un seguimiento de 30 días [35]. Debido a que las celdas DSSc muestran crecientes investigaciones debido a su bajo costo y facilidad de producción, durante el año 2019 en Brasil se desarrolla una celda híbrida basada en esferas de ZnO y se incluye P3HT-P3OT como copolímero portador de carga. El dispositivo fue ensamblado en forma de "sándwich" utilizando un sustrato FTO con recubrimiento de ZnO y P3HT-P3OT como electrodo de trabajo y par redox I^-/I_3^- como electrolito. La celda en presencia del copolímero presentó una eficiencia de 0.16% permitiendo concluir que el copolímero fue un sensibilizador satisfactorio [36].

Durante el año 2019 en Pakistan se enfoca una investigación en la búsqueda de mejoras en la eficiencia de celdas DSSc basadas en grafito y se desarrolla un trabajo con tres hojas de plantas diferentes (*Epipremnum aureum*, *Polyalthia longifolia* y *Pteris cretica*) como fuentes de tintes orgánicos y electrolito a partir de iones de cloruro de litio I^-/I_3^- . Los resultados mostraron presencia de clorofila y carotenoides en los tintes y brindan una eficiencia de 0.8755 % [37].

Durante el año 2020 en Republica Checa se realiza una revisión de las investigaciones actualizadas en cuanto al estudio de celdas DSSc y a la inclusión de nanopartículas de óxidos metálicos, se discuten las diferentes tecnologías fotovoltaicas los procesos de funcionamiento y fabricaciones celdas DSSc, además se muestra que las investigaciones en cuanto a nuevos electrolitos basan sus estudios en la búsqueda de materiales que actúan como aditivos en el electrolito de I^-/I_3^- redox y que buscan aumentar la vida útil de los dispositivos sensibilizados con colorantes orgánicos [2]

1.1.2 Estado del arte: Baterías

En el año 2006 se investiga en Pakistan las propiedades electroquímicas de una celda compuesta de electrodos de zinc y carbono, como electrolito se utiliza una

solución acuosa de colorante naranja y los componentes se integran en un recipiente de vidrio de 4 y 2 cm de longitud y diámetro respectivamente. Los resultados muestran que la celda es recargable, sus valores de voltaje equivalen a 1,5 V y corriente a y 0,45 mA [38].

En el 2017 se estudia nanoestructuras híbridas compuestas por nanopuntos de óxido de zinc de tamaños menores a 5 nm con carbono, estas nanoestructuras son utilizadas como objeto de estudio en la mejora del rendimiento electroquímico para el almacenamiento por ciclo de litio en celdas recargables, los resultados muestran que las estructuras compuestas por ZnO y carbono nanoestructurado mejora la conductividad en cada ciclo y genera una alta capacidad reversible [39].

Surge en el año 2017 en China un trabajo como alternativa en la búsqueda de aplicaciones de almacenamiento de energía electroquímica por medio de nanobarras de ZnS ultrafinas enraizadas en los poliedros de carbono. Los materiales propuestos se evalúan como ánodos en baterías de ion litio, logrando una alta estabilidad mecánica y generando vías de transporte electrónico, el trabajo realizado permite enfocar al atención a futuros trabajos con sulfuros metálicos porosos [40].

Debido a la alta demanda de dispositivos electrónicos, el área que estudia el almacenamiento de energía empieza a tomar gran importancia en la investigación, en China durante el año 2018 se estudia estructuras metal orgánicas (MOF) por medio de fibras en forma de tubos de tamaño nanométrico basadas en matrices de hojas de NiZnCoP derivadas de MOF y α -Fe₂O₃, generando altas capacidades y densidades de energía, además de mostrar una alta flexibilidad mecánica [41].

En China para el año 2019 se estudia el Zinc como material prometedor en dispositivos de almacenamiento de energía en baterías recargables acuosas por características tales como: bajo costo, alta potencia, alta densidad de energía y su disminuido efecto sobre el medio ambiente. La utilización de electrolitos orgánicos no contaminantes ha sido un reto, ya que su uso genera bajas estabilidades cíclicas.

En este texto se realiza un dispositivo completo con carbón activo que demuestra una buena capacidad de velocidad y una buena estabilidad de ciclo [42].

China continua con los estudios sobre dispositivos de almacenamiento de energía eléctrica, este trabajo parte abordando los problemas de baja flexibilidad, inflamabilidad, volatilidad, toxicidad y alto costo en baterías de litio y propone una microbatería acuosa de iones de zinc de estado cuasi-sólido (ZIMB), que proporciona una forma de almacenamiento de energía en miniatura de última generación con dispositivos con alto rendimiento, además muestra una buena flexibilidad y estabilidad a altas temperaturas [43].

China continua durante el mismo año con las investigaciones en torno a los sistemas de almacenamiento de energía, en este caso muestra los resultados de una batería de Zinc de estado sólido con un ánodo metálico de zinc, un cátodo fabricado depositando matrices de nanocables orgánicos en películas de nanotubos de carbono y ZnSO_4 como electrolito. El análisis del dispositivo fabricado muestra alta flexibilidad, alta capacidad y densidad de corriente [44]

Se fabrica en el mismo país durante el mismo año una batería de $\text{Zn-Ag}_2\text{O}$ de tal forma que el dispositivo final sea capaz de almacenar energía proveniente de la energía eólica producida por el viento, la batería se fabrica sin aglutinantes, responde a las características de flexibilidad y buena durabilidad electroquímica, capaz de retener un 79,5 % de energía después de 200 ciclos [45].

Durante el año 2020 China continua las investigaciones en cuanto a sistemas de almacenamiento de energía, en este caso reporta un nuevo tipo de batería recargable de iones de $\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$, con un cátodo de carbono, un ánodo de zinc y un electrolito orgánico $\text{K}_2\text{Zn}(\text{OH})_4^{2-}$. Los resultados muestran una capacidad cíclica después de 700 ciclos y surge una nueva idea para explorar electrolitos de alta estabilidad en baterías de zinc, además de la fabricación de nuevos sistemas de almacenamiento de energía electroquímica [46].

Igualmente, en el año 2020 China sigue estableciéndose como potencia en cuanto a la investigación de sistemas de almacenamiento de energía, esta vez propone baterías acuosas recargables de iones de zinc (ZIB), en el cátodo presenta la integración de nanobarras de carbono nanoporoso con agregaciones poly(1,5-NAPD), lo que facilita la formación de nanobarras y genera caminos sin obstáculos entre los procesos cíclicos de carga. la presencia de nanoestructuras de carbono permite que se pueden operar dentro del rango de voltaje de 0.1 - 1.8 V y brinda méritos tanto en batería iónica como en supercondensadores [47]

1.1.3 Estado del arte: Electrolitos

En China durante el año 2009 se prepara un electrolito en gel de polímero con la utilización de poli(acrilonitrilo-co-estireno) (AS) como matriz de polímero, acetonitrilo (ACN) y tetrahidrofurano (THF) como disolvente de mezcla orgánica binaria, NaI + I₂ como electrolito, polvo de grafito y 1-metilimidazol (MI) como aditivos. Para la medición del electrolito fabricado se midió la conducción eléctrica entre dos electrodos, los dos sustratos FTO recubiertos con TiO₂ y Pt respectivamente, sus propiedades midieron la influencia del electrolito en el rendimiento del dispositivo fotovoltaico alcanzando una eficiencia de 3,25% [48]

Las celdas DSSc se convierten a medida que pasa el tiempo en una alternativa útil para la generación de energía eléctrica, de esta forma en España durante el año 2010 se analiza el rendimiento de este tipo de dispositivos basados en ZnO sensibilizados con el tinte D149 en presencia de un líquido iónico puro compuesto por yodo (1) yoduro de 1-propil-3-metil imidazol puro (PMII) y una mezcla de PMII con baja viscosidad. Los dispositivos arrojaron una eficiencia de 2.9% [49].

En el año 2013 se fabrica en México una celda DSSC basada en Nanopartículas de ZnO con dos colorantes orgánicos, JG1007 y D358, estos se combinan con dos electrolitos, el electrolito usado es rojo, uno a base de disolventes orgánicos y el otro sin disolventes basado en líquido iónico. Los resultados muestran que se obtienen

tiempos de vida más cortos y fotovoltajes más bajos para ambos tintes cuando se utilizan electrolitos iónicos líquidos y para el dispositivo con el tinte D358 se obtuvo la mayor eficiencia igual a 2,7% [50].

En Grecia para el 2014 en Grecia se estudia la inclusión de grafeno en el polímero P3HT para ser usado como electrolito en celdas DSSc basadas en TiO_2 y sensibilizadas con el colorante N719. Los resultados mostraron que al agregar pequeñas cantidades de grafeno al copolímero P3HT se presenta un aumento de hasta 3 veces en la eficiencia de los dispositivos fotovoltaicos [51].

En México en el año 2016 se desarrollaron celdas solares basadas en TiO_2 con tinte N719 y se fabricaron electrolitos cuasi-sólidos que se sintetizaron con hidrogeles cargados con monómeros de anilina y fenilendiamina, con los cuales se obtuvo una eficiencia de dispositivo fotovoltaico de 2,17 [6].

Para el 2017 en Malasia se investiga sobre los efectos de la inclusión de Nanopartículas de plata en celdas DSSC basadas en TiO_2 y en tintes N3 y antocianina, utilizando Electrolitos de polímero en gel (GPE) a base de poli (óxido de etileno) (PEO). Los resultados muestran una mayor eficiencia para los dispositivos que contienen el tinte N3 correspondiente a 4.61%, este valor se puede atribuir a la dispersión de la luz y el transporte de carga que es un resultado de la resonancia plasmónica de las nanopartículas de plata.[52].

En Alemania durante al año 2017 se estudia celdas DSSc con fotoánodo electrodepositado, usando como sensibilizador orgánico el tinte DN216 y $\text{Co}^{2+/3+}(\text{bpy})_3$ como electrolito redox modificado con TBP, este mostró un rendimiento comparable a las celdas basadas electrolito de I^-/I_3^- , los resultados son importantes para el electrolito ya que puede ser usado en otras celdas electroquímicas de almacenamiento de energía o combustible [53].

En China en el año 2017 se estudian polielectrolitos conjugados con banda prohibida estrecha (NBGCP) basados en PTB7, PTB7-NBr catiónico y PTB7-NSO3 de ion híbrido, las eficiencias se midieron en sustratos ITO obteniendo valores óptimos de

conversión de energía (PCE) del dispositivo PTB7-NBr y el dispositivo PTB7-NSO₃ son de 9.24% y 8.00% respectivamente, demostrando así que los polielectrolitos conjugados de banda prohibida baja pueden aportar un campo amplio en la investigación de efectos iónicos de electrolitos orgánicos[54].

China siguiendo con la búsqueda de electrolitos, fabrica un novedoso y ecológico electrolito hiperramificado identificado como PNSO₃Na. Se diseñaron dispositivos con recubrimientos sobre sustratos ITO con nanofibras de ZnO en capas de electrones para facilitar el transporte de energía, sobre los sustratos tratados se agrega el electrolito, generando el compuesto ZnO / PNSO₃Na, el cual brinda un alta eficiencia del 11,2%[55].

Se presenta en China durante el año 2018 un nuevo electrolito zwitteriónico de molécula pequeña (S1) combinado con ZnO como capa intermedia transportadora de electrones, El S1 puede pasivar eficazmente los defectos intrínsecos de la superficie de ZnO y mejorar la adhesión a la película, así se presenta una excelente capacidad de extracción de carga que suprime la pérdida de recombinación de carga y disminuye la resistencia con la capa activa, el dispositivo posee una eficiencia de 8.59% [56].

Se propone en convenio de Corea y Pakistán la inclusión de grafito poroso cationizado (cpG) como electrocatalizador en dispositivos fotovoltaicos DSSc, de esta forma su interacción genera baja resistencia a la transferencia de carga, alta actividad electrocatalítica gracias a que su presencia atrae muchos iones de yoduro negativos presentes en el electrolito redox, lo que proporciona una rápida reacción de reducción-oxidación y un rendimiento fotovoltaico con una eficiencia del 9,59% [57].

Japón para el año 2018 presenta la fabricación de celdas flexibles de alto voltaje con el tinte orgánico, D35 y [Co(bpy)₃]^{2+/3+} como electrolito. Las mayores eficiencias de conversión que se obtuvieron fueron de 3,73 y 2,63% para las células que emplean

vidrio recubierto de SnO_2 dopado FTO e ITO. El trabajo sugiere al final la búsqueda de tintes con una rectificación fuerte como D35 y con absorción de luz más amplia que D35 para lograr alta corriente y voltaje [58].

En Alemania en 2018 se fabrica celdas DSSc basadas en ZnO electrodepositado empleando como electrolitos $\text{Co}(\text{bpy})_3$ [bpy = 2,2'-bipiridina] y $\text{Cu}(\text{tmby})_2$ [tmby = 4,4', 6,6'-tetrametil-2,2'-bipiridina], se logran eficiencias de conversión de energía de 3.56% para un electrolito a base de $\text{Co}(\text{bpy})_3$ y de 3.85% para un electrolito a base de $\text{Cu}(\text{tmby})_2$ [59].

En Korea en el año 2019 se utilizaron dos nuevos electrolitos de moléculas pequeñas llamados 2,2'-(etano-1,2-diilbis (oxi)) bis (N, N, N-trimetiletananminio) bencenosulfonato (TEG-M-OT) y 1,1'-bis (1-dodecil) -4, 4'-bipiridina-1,10-bencenosulfonato de diio (V-C12-OT). Su aplicación en celdas DSSC basadas en ZnO sobre sustratos ITO se realizó con las películas de ZnO libres y en capas amortiguadoras de cátodo, en el primer caso se logró valores de eficiencia de 4,22% y 6,95%, respectivamente y en el segundo caso se incrementó de 7,48% a 7,74% y 7,88% [60].

1.1.4 Estado del arte: Nanopartículas de plata

En India durante el año 2008 se sintetizan Nanopartículas anisotrópicas de plata utilizando irradiación con microondas mediante la descomposición de oxalato de plata en un medio de glicol usando polivinilopirrolidona (PVP) como agente final. Los resultados muestran partículas esféricas de un tamaño de 5-6 nm aproximadamente para tiempos de irradiación de 60 s [61].

En Texas se sintetiza por primera vez nanopartículas (NP) y nanocadenas de plata (Ag) de tamaño controlado en grandes cantidades. El proceso de síntesis incluye 2,7-dihidroxi-naftaleno alcalino (2,7-DHN) como un nuevo agente reductor y la solución final se somete a calentamiento por microondas durante diferentes tiempos comprendidos en el rango de 10 a 60 s generando partículas esféricas con diámetros comprendidos entre 4-32 nm para los diferentes tiempos de exposición [62].

En Venezuela en el 2010 se prepararon nanopartículas de plata en ausencia de estabilizantes poliméricos, se agregó NaOH a una solución compuesta de etilenglicol y AgNO_3 y se irradió durante 60 segundos a una potencia de 465 W. Los resultados muestran nanopartículas de plata de tamaños entre 4-18 nm y la caracterización por Uv.Vis muestra la banda de absorción en 380 nm, la cual puede atribuirse a la resonancia del plasmón de superficie frecuentemente observada en el rango de 380-430 nm [63-64-65].

En Malasia en el 2012 se fabricaron nanopartículas de plata con nanocompuestos de óxido de plata y grafeno por medio de un método rápido y ecológico con la asistencia de irradiación por microondas. Los tamaños de las nanopartículas mostraron una distribución estrecha de tamaño y se distribuyeron aleatoriamente en la superficie del óxido de grafeno [66].

En Japón durante el año 2013 se realiza la síntesis de nanopartículas de plata controladas por tamaño y color mediante el uso de irradiación con microondas con 500 W de potencia, presentando mejoras en la actividad catalítica de la superficie de resonancia de plasmón generando colores amarillo, rojo y azul para tiempos de irradiación de 3-5 min respectivamente con tamaños aproximados de 4-9 nm [67].

En el 2013 en China se desarrolla un procedimiento en solución acuosa de nanopartículas de plata en óxido de grafeno reducido con almidón como agente reductor y estabilizante (RGO) (RGO / Ag NP), la solución se expuso a irradiación con microondas y se obtuvieron partículas de diámetros comprendidos en el rango de 20 a 50 nm sobre láminas de RGO[68].

Se desarrolla en China durante el año 2014 un método de irradiación de microondas fácil, rápido y escalable para la síntesis de Ag, de esta forma se obtienen nanopartículas de plata dispersas en láminas de grafeno sin hacer uso de reductores adicionales, así se muestra por las respectivas caracterizaciones la obtención de Ag-NPs con tamaños medios entre 5-10 nm sobre hojas de RGO, el análisis por FTIR muestra la presencia de grupos carboxílicos y estiramientos de los enlaces C-O [69].

En el año 2015 en Indonesia se utiliza como agente reductor y estabilizante una solución mixta de alginato y como sal precursora (AgNO_3) por medio de radiación con microondas, encontrando que la interacción de la sal precursora con alginato influye sobre el tamaño de partícula y la distribución de estas. Las Ag-Nps fueron significativamente dependientes del pH y la fuerza iónica ya que para relaciones de concentración entre la sal y alginato se presenta mayor estabilidad electrostática y mayor velocidad de nucleación [70].

Estudios realizados durante el año 2015 en Polonia demuestran la síntesis de nanopartículas de plata con dos tipos de agentes precursores (nitrato de plata y acetato de plata), estos compuestos se mezclaron con etilenglicol como agente estabilizante. Los resultados demuestran que el acetato de plata es superior generando Ag-NPs en un rango de tiempo de 3-24 segundos de irradiación con microondas de 2 kW de potencia con frecuencia de 2,45 GHz. Al utilizar nitrato de plata como agente precursor, no fue posible obtener resultados, esto debido a la limitada solubilidad del acetato de plata que facilita la separación y el crecimiento de partículas a partir de su nucleación [71].

En el 2016 en Sudáfrica se plantea un método de síntesis simple asistida por microondas de nanopartículas de plata utilizando celulosa extraída de brotes de *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua). Por medio de este proceso se encontraron Ag-NPs con diámetros medios de partícula cercanos a $2,17 \pm 0,40$ nm, el análisis por FTIR muestra la presencia de grupos funcionales propios de la celulosa. Los resultados son prometedores y aplicables para la síntesis de nanoestructuras de otros metales nobles [72].

En el año 2018 en India se desarrolla un estudio de la síntesis biogénica asistida por microondas de nanopartículas de plata (Ag-NPs), en este caso se utiliza extracto de hoja acuosa de *Lepidagathis cristata* (L. cristata) como agente reductor y de cobertura. En análisis por Uv.Vis muestra la banda de absorbancia máxima en aproximadamente 430 nm que se debe a la excitación del plasmón de superficie y el análisis por FTIR muestra la presencia de biomoléculas funcionales [73].

En Irán el mismo año se sintetizaron nanopartículas de plata (Ag NP) utilizando extracto de hoja de *Juglans regia* (J. regia) como agentes reductores y estabilizantes

mediante el método de irradiación de microondas. Los análisis por FTIR muestran la presencia de los principales grupos funcionales existentes en el extracto de hoja de J. regia. y el análisis por Uv.Vis muestra la longitud de onda que va de 380 a 450 nm [74-75-76]

En el año 2019 en china se prepararon nanopartículas de plata monodispersas (Ag-NPs) mediante la reacción de nitrato de plata con pectina hidrolizada con álcali y por irradiación con microondas de 400 W de potencia, se crearon dos soluciones y se expusieron a microondas durante 1 y 2 min obteniendo valores de diámetro de Ag-NPs esféricas de 2,90-11,94 nm respectivamente, estos dos tipos de Ag-NPs exhibían actividades antibacterianas y antifúngicas similares [77]

En el presente año en España se investiga la fabricación de nanopartículas de plata (Ag-NPs) de diferentes tamaños por calentamiento rápido de la técnica de microondas, Las Ag-NPs se sintetizaron utilizando poli (vinilpirrolidona) (PVP), al aumentar el tiempo o la temperatura, se observa un refinamiento de tamaño y forma que da como resultado Ag-NPs esféricas de 10 nm con baja polidispersidad. Un aporte muy importante del trabajo realizado indica que se presenta una estabilidad a largo plazo de hasta 9 meses en soluciones acuosas [78].

1.1.5 Estado del arte: Nanoalambres de óxido de zinc

Durante el año 2008 en estados unidos se estudia alternativas en la síntesis de nanoalambres en fase gaseosa para óxidos metálicos mediante oxidación directa en un reactor de chorro de plasma de microondas. Los resultados muestran que la producción de NWs metálicos a partir de SnO_2 , ZnO , TiO_2 y Al_2O_3 en tamaño nanométrico depende de variables importantes como el tamaño de partícula antes de someterla al proceso de irradiación, así como también de la potencia del microondas ya que a medida que aumenta su potencia se puede reducir los tamaños de los nanoalambres [79].

Durante el año 2010 Estados Unidos continúa con el estudio de nanoalambres de ZnO debido a la importancia que han adquirido en el campo de la ciencia, sus propiedades estructurales y físicas ofrecen un alto potencial para futuras aplicaciones tecnológicas. Se propone en este estudio la técnica de calentamiento asistido por microondas en presencia de argón para el crecimiento de nanoalambres presentando una distribución de temperatura que se ajusta al material de forma rápida y sencilla, además es un proceso de bajo costo y de producción masiva de nanoalambres de ZnO con diámetros cercanos a 100 nm [80].

En China durante el año 2010 se toma como base las futuras aplicaciones que puede tener el uso de nanoalambres de ZnO como materiales importantes en nanodispositivos optoelectrónicos, partiendo de la necesidad de producir estos nanocumpuestos en grandes cantidades, por eso se propone un método de reducción carbotermal modificado usando un tubo de cuarzo sin catalizadores como mediadores y utilizando una mezcla de nitrógeno y aire como gas reactivo, así utilizando relaciones 1 a 1 en masa de polvo de grafito y ZnO se expuso la muestra a radiación por microondas, generando nanoalambres de ZnO con diámetros comprendidos entre 1,8 μm y 35 nm [81].

Irán en el año 2012 estudia la síntesis de matrices largas de nanocables de ZnO alineadas verticalmente utilizando un sistema ultrarrápido por medio de un proceso hidrotermal asistido por microondas. Usando este método se realiza el proceso inicial de térmica del acetato de zinc y después se somete la muestra a calentamiento por microondas durante periodos de tiempo comprendidos entre 4–80 min, obteniendo longitudes superiores a 1,2 μm a un nivel de potencia de 450 W y más de 700 nm a 850 W [82].

En el año 2012 se sintetiza nanoalambres de ZnO a partir de diferentes sales de zinc usando el método de calentamiento convencional y calentamiento por microondas. Así para la solución de acetato de zinc se observa un comportamiento de diámetro y longitud constante a medida que pasa el tiempo, en el caso de nitrato y cloruro de zinc el comportamiento de diámetro y longitud aumenta a medida que pasa el tiempo.

Al someter las soluciones al Calentamiento por microondas se muestra formación de los nanocables de ZnO más largos comparados con otras sales. Los resultados obtenidos por microondas revelan similitudes al método convencional además de acortar el tiempo de obtención [83].

En Corea durante el año 2012 se examinan las propiedades eléctricas de nanoalambres de ZnO, estudiando los diámetros en diferentes rangos de frecuencias. Los nanoalambres se sintetizaron por el método CVTC en horno a temperaturas de 800-1000 °C, en presencia de flujo constante de argón, de esta forma se obtuvieron diámetros de 20-200 nm y longitudes de 5-20 mm. El análisis mediante la simulación de un circuito RLC muestra una leve disminución en la resistencia de contacto que mejora la transmisión y adaptabilidad de los dispositivos de RF que utilizan nanocables de ZnO [84].

Se propone en China para el año 2014 un método de crecimiento rápido y controlable de matrices largas de nanocables de ZnO con calentamiento por microondas con soluciones precursoras de hexahidrato ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) y hexametilentetramina (HMTA, $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) inyectadas continuamente en el reactor. El calentamiento se desarrolló por 0,5 a 5,0 h con una potencia de 640 W, los resultados muestran las matrices de nanocables de ZnO alineadas verticalmente con una longitud de 3.4, 7.3, 10.8, 14.7 y 17.2 μm después de crecer durante 1, 2, 3, 4 y 5 h, respectivamente [85].

Se sintetiza en China en el año 2015 matrices de nanocables de ZnO ordenadas verticalmente sobre sustrato de vidrio de óxido de indio y estaño (ITO) mediante un método hidrotermal asistido por microondas, con irradiación durante 3 h, obteniendo nanoalambres alineados verticalmente con longitudes de aproximadamente 5,4 mm y diámetros en el rango de 100 a 120 nm. Los resultados indican que la muestra tiene una alta actividad fotocatalítica [86].

La radiación de microondas se gana un papel importante en los métodos de asistencia en los procesos de síntesis de nanomateriales, en este caso se desarrolla la investigación en Tailandia en el año 2016 que propone la síntesis rápida de nanoalambres de ZnO como producto de la interacción de plasma producido por la interacción de las ondas microondas con flujo de gas inerte producido por la atmosfera. El tiempo de deposición se da en el rango de 1-4 s, generando como resultados, tamaños medios de partícula de 50 nm [87].

En Chile en el año 2016 se desarrolla un método novedoso en la producción a gran escala de nanoalambres de ZnO (ZnO-NWs), el método que resulta ser simple, económico y reproducible consiste en la descomposición térmica asistida por microondas (MATD), se realiza una mezcla homogénea de ZnO (1,0 g) con grafito (2,0 g) y se deposita en un recipiente cerámico en el interior de horno cubierto con los contenedores de cuarzo que se encuentran en el interior y exterior del horno en forma de reloj de arena, la potencia que generó nanoalambres de óxido de zinc fue de aproximadamente 1000 W generando variaciones en los diámetros de 15 nm a 100 nm y longitudes en el rango de 5 a 10 μm [88].

En Corea durante el año 2019 se sintetizaron de manera eficiente diferentes nanoestructuras de ZnO utilizando un plasma de microondas generado a presión atmosférica, se generaron estructuras tales como: nanoalambres largos ($626.5 \pm 213.7 \text{ nm}$ - $852.6 \pm 286.2 \text{ nm}$), nanoalambres cortos ($82.0 \pm 27.5 \text{ nm}$ - $308.5 \pm 131.8 \text{ nm}$), nanoalambres ($109.5 \pm 8.0 \text{ nm}$ - $5835.0 \pm 543.2 \text{ nm}$) y tetrápodos ($29.8 \pm 7.7 \text{ nm}$ - $256.5 \pm 128.0 \text{ nm}$) para las medidas de (diámetro-longitud) respectivamente [89].

En el año 2020 se elabora nanoalambres de óxido de zinc por el método hidrotérmal utilizando un horno de microondas, que varía tiempos de irradiación y potencia con valores comprendidos entre 80 W (60-180 min)- 240W (5-20 min)-400W (2-8 min) generando estructuras de diámetros comprendidos en el rango de 42,43- 128,40 nm. El estudio confirma bien que la densidad, longitud, diámetro y bandgap de los nanoalambres de ZnO se puede modular por un control simple de potencia de microondas y tiempo de irradiación [90].

1.1.6 Estado del arte: Materiales orgánicos

Aguacate

En el año 2006 en estados unidos se calcularon los valores de permisividad en un conjunto de frutas y verduras, entre los que se incluyó el aguacate (*Persea americana*, Miller var. *americana*), en el estudio se encontró que el aguacate posee un comportamiento dieléctrico, así que se estableció una relación de ese comportamiento respecto a la temperatura [91].

En el 2010 se analizaron distintas frutas exóticas entre ellas el aguacate (*Persea americana*) por los métodos analíticos de: fluorescencia tridimensional y espectroscopia FTIR, encontrando que esta posee un alto contenido de compuestos fenólicos. Complementario a estos análisis para determinar la capacidad antioxidante de los compuestos realizaron la técnica ensayo de barrido con distintos radicales como: cobre (CUPRAC), hierro (FRAP), radical 1-difenil-2-picrilhidrazil (DPPH) y Sal de diamonio 2,2-azino-bis(ácido 3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS⁺) [92].

En el 2016 se estudió la sorción de metales pesados en la superficie de semillas de aguacate (*Persea americana* biomasa), la cuales se sometieron previamente a un tratamiento químico con ácidos orgánicos y minerales. Utilizaron la técnica de espectroscopia de FTIR y microscopia de barrido electrónico (SEM) para determinar que ácido genera mejor sorción de metales pesados modificando los grupos funcionales presentes en la semilla, también encontraron que en las semillas tratadas con ácido podrían ocurrir procesos de intercambio iónico y complejación con grupos funcionales fenol o carboxilo[93].

En el 2019 se utilizó del aceite de pulpa de aguacate (*Persea americana*), el cual se encapsulo en fibras del polímero zeína utilizando la técnica de electrospinning para analizar los mecanismos de liberación de carotenoides bajo condiciones

gastrointestinales. Evaluaron la eficiencia de este procedimiento por medio de las técnicas de FTIR-ATR y la difracción de rayos X.[94]

En el 2019 se utilizó la cascara de aguacate (*Persea americana*), como método de biosíntesis de nanopartículas de plata (Ag-NPs), nanopartículas de oro (Au-NPs) y nanopartículas bimetálicas (Ag-Au-NPs), con posibles aplicaciones antifúngicas, antibacterianas y potenciales antioxidantes. Caracterizándolas con las técnicas de: espectroscopia Uv-Vis la cual mostró una superficie de resonancia del plasmón para Ag-NPs, Au-NPs y Ag-Au-NPs a 455.5, 538 y 540.5nm; en FTIR encontraron picos característicos de: AgNPs(3358cm^{-1}), AuNPs(3503cm^{-1}) y Ag-Au-NPs (3651cm^{-1}) los cuales muestran proteínas que recubren y estabilizan durante la síntesis de nanopartículas; SEM observaron partículas generalmente esféricas con tamaños en el rango de 18-80nm Ag-NPs, 16-71nm Au-NPs y 44-55nm Ag-Au-NPs, difracción de electrones en áreas específicas (SAED), espectroscopia de energía dispersiva de rayos X (EDS) y difracción de rayos X.[95]

Caña de azúcar

En Japón durante el año 2011 se fabrica un material compuesto utilizando ceniza de bagazo y bagazo carbonizado que se obtenía después de exprimir la caña de azúcar, la resistividad eléctrica fue de $0,048\ \Omega\cdot\text{cm}$ con una relación de mezcla de 2:1 que contenía una gran cantidad de ceniza de bagazo y de $0,0186\ \Omega\cdot\text{cm}$ con una relación de mezcla de 1:1. Se presenta una caída en la resistividad presente en el compuesto y se debe al espacio entre las fibras de bagazo carbonizado dentro del material compuesto[96].

En Brasil para el año 2011 se estudia la morfología, propiedades eléctricas y aplicaciones en detección en ligninas que se extrajeron del bagazo de caña de azúcar. Se fabricaron películas de PVD de lignina fabricadas al vacío por evaporación térmica, determinando una conductividad de $3.6 \times 10^{-10} \frac{\text{S}}{\text{m}}$ y al aplicar anilina se logra una conductividad de $1,75 \times 10^{-9} \frac{\text{S}}{\text{m}}$ [97].

En el 2013 estudiaron las propiedades morfológicas, eléctricas y electroquímicas del carbón activado obtenido a partir del bagazo de caña de azúcar, también caracterizaron el material por medio de técnicas de: difracción de rayos X(XRD), FTIR y SEM; Determinaron para este material una conductividad eléctrica desde $10.22 \times 10^{-3} \frac{S}{cm}$ hasta $25.131 \times 10^{-3} \frac{S}{cm}$ en un medio donde aumentaron la temperatura a corriente directa y una capacitancia de $92-340 \frac{F}{g}$, lo que es un indicio de buenas propiedades electroquímicas[98].

En el 2015 se utilizó el bagazo de caña de azúcar (SCB) para determinar propiedades antimicrobianas. La SCB se modificó por la técnica de injerto “*grafted*” (g) con acrilamida (AAm) y metacrilato de glicidilo (GMA). Aparte se sintetizaron nanopartículas de plata (Ag-NPs) las cuales caracterizaron por XRD y TEM para impregnarlas en los materiales SCB sin modificar, SCB-g-AAm y SCB-g-GMA, el material obtenido fue caracterizado por FTIR, XRD y SEM [99].

En el 2016 sintetizaron a partir de la melaza de caña y polvo de paligorskita una muestra de material con propiedades eléctricas (conductividad: $1 \frac{S}{cm}$ a temperaturas de 173-193 K) y térmicas (difusión: $9 \times 10^{-7} m^2 s^{-1}$ y conductividad: $1.1 W m^{-1} K^{-1}$). Este material se caracterizó por FTIR, espectroscopia Raman, medidas Brunauer–Emmett–Teller (BET) y microscopia de transmisión electrónica de alta resolución HRTEM. Se realizaron pruebas de este material como ánodo en una batería de litio secundaria encontrando una alta capacidad específica y un excelente rendimiento en términos de número de ciclos [100].

En el 2017 se obtuvo carbón a partir de caña de azúcar por método de carbonización hidrotermal y activación físico-química para luego le determinarle estructura y conductividad eléctrica. Lo caracterizaron por medio de las técnicas de EDS, SEM, XRD y un equipo que mide inductancia-capacitancia-resistencia (LCR-meter), el

material mostró características porosas y una conductividad eléctrica de 5.36×10^{-2} y $1.11 \frac{S}{m}$ propia de un semiconductor[101].

Plátano

En el 2018 se estudió la capacidad de sorción de disoluciones acuosas de fosforo y nitrógeno con biocarbón modificado con cloruro de magnesio y obtenido a partir de 6 materias primas diferentes entre ellas la cascara del plátano, durante el experimento se le realizaron análisis de FTIR, XRD y SEM/EDS para determinar el mecanismo predominante de adsorción, el cual involucra la superficie electrostática de los biocarbones y la influencia de los iones magnesio[102].

1.2 Identificación de vacíos de conocimiento

Después de haber realizado una revisión general de literatura relevante al tema de investigación propuesto, se presenta entonces un listado con la información de los estudios, procesos, técnicas y aplicaciones que escasamente se han tratado en anteriores investigaciones, además se presenta la integración de procesos con objetivos novedosos en el ámbito de las ciencias y la tecnología. Así, se presentan a continuación los vacíos de conocimiento respecto a la investigación desarrollada:

- ❖ No existe publicación alguna, en la cual se integre los conceptos propuestos en el trabajo.
- ❖ La utilización de recursos orgánicos (aguacate, caña de azúcar y plátano) no ha sido enfocada hacia el estudio de almacenamiento de energía eléctrica.
- ❖ No se ha desarrollado un electrolito que cumpla con características de simple preparación, económico, bajo efecto sobre el medio ambiente y versatilidad para su uso en celdas solares DSSc y baterías orgánicas.
- ❖ La aplicación de nanomateriales (ZnO-NWs y Ag-NPs) sintetizados usando la técnica de microondas no ha sido enfocada a la producción comercial de dispositivos.

1.3 Justificación

El estudio de alternativas a los problemas ambientales actuales de la sociedad ha sido la base para iniciar investigaciones en diversos campos de la ciencia. La búsqueda de nuevos dispositivos que mejoren la eficiencia de los sistemas actuales es algo común de encontrar en los artículos científicos desarrollados por los grupos de investigación, el sector energía es un ejemplo claro, ya que durante los últimos 20 años se ha presentado una creciente producción de artículos científicos que abordan temáticas asociadas a la eficiencia energética, biocombustibles, minería, materiales, energías renovables, hidrocarburos, energía y potencias, gestión energética, y otros aspectos ligados al desarrollo tecnológico, políticas y movilidad sostenible [103]; aun así, el desarrollo científico ligado a la generación de patentes con aplicaciones prometedoras en la sociedad, es un barrera que no se ha logrado superar.

La energía como un recurso vital de los países, posee una relación directa con el desarrollo humano y la sostenibilidad, de esta manera se convierte en un agente importante en las consecuencias ambientales de nuestro planeta, pues en la última década se ha presentado un hecho histórico debido a la presencia de las mayores emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) [104], en Colombia por ejemplo la prestación del servicio energético depende en mayor parte de fuentes hídricas con aproximadamente 68.5% de la energía total del país [105] y algunas proyecciones acerca de los panoramas ante eventuales problemas energéticos apuntan a que el sistema energético colombiano es vulnerable al cambio climático y se ve afectado por fenómenos como el niño y la niña [106], acaso ¿es el único factor que afecta el estado actual del medio ambiente?. La alta demanda de artefactos de uso cotidiano como la linterna, mando de tv o consola, cámaras fotográficas, juguetes, relojes, generan una gran cantidad de desechos tóxicos [107] que a pesar de contar con metodologías de buena manipulación y manejo, siguen generando efectos de contaminación irreversible sobre el medio ambiente.

Con la motivación de realizar un trabajo con aplicaciones prometedoras en pro de brindar alternativas a los problemas ambientales, surge la idea de este proyecto de investigación que integra los conceptos de: celdas solares sensibilizadas con colorante DSSC, baterías orgánicas, electrolitos, síntesis de nanopartículas de plata (Ag-NPs), síntesis de nanoalambres de óxido de zinc (ZnO-NWs), materiales orgánicos (aguacate, caña de azúcar y plátano), como objeto de estudio para abordar los vacíos del conocimiento establecidos en la anterior sección partiendo de la necesidad de brindar alternativas en cuanto a la generación de energía eléctrica y almacenamiento de esta, con procesos que no causen daños excesivos en el medio ambiente. Así se propone la fabricación de un electrolito que cumpla con características de simple preparación, económico, bajo porcentaje de polución y versatilidad para la fabricación de celdas solares sensibilizadas con colorante (DSSC) y nuevos prototipos de sistemas de almacenamiento reemplazando los materiales contaminantes con compuestos orgánicos.

1.4 Definición del problema de investigación

La presente investigación se enfoca en dos factores importantes, el primero tiene que ver con el actual estado de contaminación por el que pasa nuestro planeta y el segundo con la integración de los conceptos de: celdas solares sensibilizadas con colorante DSSC, baterías orgánicas, electrolitos, síntesis de nanopartículas de plata (Ag-NPs), síntesis de nanoalambres de óxido de zinc (ZnO-NWs), materiales orgánicos (aguacate, caña de azúcar y plátano) en pro de brindar alternativas de desarrollo científico ligada a la producción de prototipos con aplicaciones prometedoras que mitiguen de los efectos de la tecnología en el medio ambiente.

La problemática empieza con el factor referente a la situación actual del sector energético de nuestra nación, del cual surgen dos vertientes establecidos en relación a los efectos contaminantes generados en primera instancia por la dependencia energética de fuentes convencionales (hídrica) en mayor porcentaje que las renovables y en segunda instancia, la gestión de residuos de baterías que día a día causa un problema medioambiental de

gran amplitud, ya que los componentes que conforman estos dispositivos se caracterizan por tener altos niveles de toxicidad.

En cuanto a la generación de energía eléctrica un 77 % de la energía total del país depende de combustibles fósiles (carbón y petróleo), mientras que un 23 % es producido por fuentes hidroeléctricas y fuentes no convencionales[108] , es así como el sector energético es vulnerable a los efectos originados por el cambio climático. Por otro lado la gestión de residuos de baterías contiene un panorama no es para nada alentador, se estima que hasta el 2010 el residuo promedio anual de baterías domésticas fue de 11000 toneladas, de las cuales 8000 de estas corresponden a zinc-carbono [107].

El segundo factor que conforma la problemática del trabajo hace referencia a la integración de los conceptos científicos de la investigación, para ello se examina el estado actual de publicaciones y patentes con aplicaciones que busquen mitigar efectos medioambientales. En el periodo comprendido entre los años 1973-2017, aproximadamente un 4,43 % [103] de los artículos científicos publicados en el país, pertenece a temas relacionados con el sector energético, pero la situación es más desalentadora, ya que a pesar de presentar un aumento gradual para llegar a ese porcentaje, la relación de publicaciones y desarrollo científico mediante aplicaciones enfocadas a la producción de patentes, es aún muy baja en el país.

En este orden de ideas, se pretende sintetizar nanopartículas de plata por un método hidrotermal asistido por microondas para la elaboración de un electrolito que sea versátil para ser utilizado en celdas solares sensibilizadas con colorante DSSC y baterías basadas en materiales orgánicos, tales como: semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde sometidos previamente a un proceso de eliminación de humedad, de esta forma por medio de procesos de síntesis económicos, rápidos y de bajos efectos de polución se busca aprovechar las propiedades de tener materiales con morfologías establecidas en tamaños nanométricos y por medio de la versatilidad de un electrolito, fabricar dispositivos que además de aportar alternativas al problema

ambiental, también permitan un crecimiento en el desarrollo científico ligado a publicaciones de artículos y producción de patentes.

1.5 Formulación de la pregunta de investigación

¿Cómo se desarrolla un electrolito a partir de nanopartículas de plata (Ag-NPs) que sea económico, presente bajo efecto contaminante sobre el medio ambiente y sea versátil para su aplicación en celdas solares sensibilizadas con colorante DSSC basadas en nanoalambres de óxido de zinc (ZnO-NWs) y baterías orgánicas generadas a partir de semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Fabricar celdas solares y baterías orgánicas usando como electrolito Ag-NPs.

1.6.2 Objetivos específicos

- ❖ Realizar síntesis mediante métodos hidrotermales asistidos por microondas de Ag-NPs.
- ❖ Elaborar un electrolito a partir de Ag-NPs y polvo de grafito.
- ❖ Producir celdas solares orgánicas usando nanoalambres de óxido de zinc
- ❖ Producir baterías orgánicas utilizando aguacate, caña de azúcar y plátano verde.
- ❖ Caracterizar el electrolito en celdas solares y baterías orgánicas.

2. Marco Conceptual

En este capítulo se presentan los principios de funcionamiento y definiciones de los conceptos de celdas solares orgánicas, baterías y electrolitos, posteriormente se establecen las propiedades y características de los materiales propuestos (Ag-NPs y ZnO-NWs).

2.1 Celdas solares orgánicas

Las celdas solares orgánicas también llamadas celdas fotovoltaicas sensibilizadas con colorante o celda fotoelectroquímica sensibilizada con colorante, fue descubierta por M. Graetzel y colaboradores [109]. Alemania y España, lideran la investigación de estas celdas solares pertenecientes a la tercera generación de sistemas fotovoltaicos; su estructura en forma de sándwich permite que el colorante ubicado en la parte media de la estructura y los electrodos de los óxidos respectivos interaccionen de forma que se dé el proceso de excitación proporcionando así los electrones, que al estar en movimiento generan una intensidad de corriente y una diferencia de potencial.

Las celdas solares DSSC (siglas en inglés dye sensitized solar cell que significan "celdas solares sensibilizadas con colorante"), funcionan bajo el fenómeno de fotosíntesis, ya que el colorante orgánico permite la propagación de electrones, adsorción de fotones que permite la generación de transporte eléctrico [110], su funcionamiento consiste en la colocación de un semiconductor entre el ánodo y un electrolito encargado de la separación de cargas mediante la exposición al espectro de ondas generadas por el sol. La interacción del sol con el colorante y el colorante con el semiconductor genera absorción de energía en fotones que causa el paso de un electrón al electrodo. El colorante se oxida, pero recupera el electrón perdido mediante el primer electrodo de vidrio y genera un proceso en cadena que se transforma en la generación de corriente eléctrica.

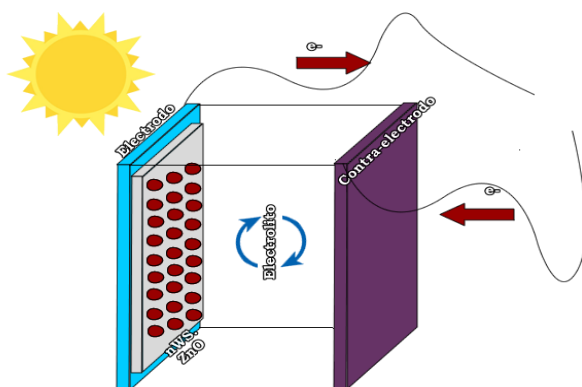


Figura 1. Funcionamiento celda solar orgánica sensibilizada con colorante

Su funcionamiento interno hace visible el efecto fotoeléctrico, mediante la generación de una fuerza electromotriz permitida por la interacción entre los electrones más alejados del núcleo (electrones de valencia), con los niveles energéticos superiores ubicados en la banda de conducción (BC) no ocupados por electrones de los diferentes átomos [111]. Los electrones de valencia se encuentran en la banda de valencia (BV) mientras los niveles energéticos superiores se encuentran vacíos y hacen referencia a la banda de conducción. La diferencia de energía entre la BV y la BC se conoce como banda prohibida o bandgap [112].

2.2 Baterías

Las baterías corresponden a dispositivos que convierten la energía química contenida por sus compuestos internos, en energía eléctrica como respuesta a reacciones de oxidación-reducción (redox), sus componentes están constituidos en su mayoría por metales tóxicos como: mercurio, plomo, níquel y cadmio [113-114], en el caso de las baterías de tipo zinc-carbono, inventadas por Georges Lechanchè en 1868 [115], están formadas por un envase de zinc puro al 99,9% con 0,03% de cadmio, en su interior tienen un vástago central de carbono, rodeado por dióxido de manganeso (MnO_2) y cloruro de amonio (NH_4Cl) gelificado es utilizado como electrolito integrado [116].

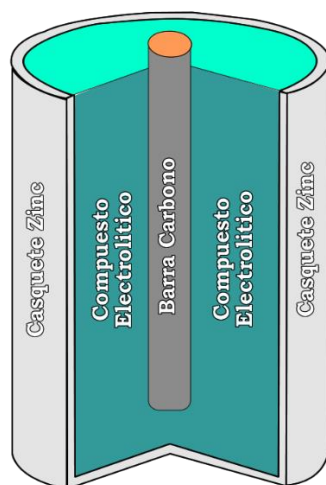


Figura 2. Estructura de una batería Zinc - Carbono

Su funcionamiento se debe a la interacción de un ánodo o electrodo negativo (zinc metálico), que cede electrones y se oxida durante la reacción química interna, un cátodo o electrodo positivo (vástago de carbono) que acepta electrones y se reduce durante la reacción, y un electrolito (cloruro de amonio) que cumple el papel de conducir iones para que se presente el fenómeno de transferencia de cargas dentro del dispositivo.

2.3 Electrolitos

Los electrolitos son aquellas sustancias que, en disolución, o como sólidos fundidos, son capaces de transportar la corriente eléctrica gracias a sus iones[117], estos deben cumplir ciertas características de acuerdo a sus aplicaciones, en celdas DSSc el electrolito debe tener una buena estabilidad química, óptica, electroquímica y térmica a largo plazo, su papel es importante porque es el encargado de reducir el tinte oxidado rápidamente para garantizar una rápida difusión de portadores de carga entre el electrodo y el contraelectrodo a fin de mantener el proceso de conversión de energía solar en energía eléctrica [6]. En baterías de tipo zinc-carbono, el electrolito debe ser un buen conductor iónico, no ser reactivo con los materiales de los electrodos y no presentar cambios significativos con la temperatura[116].

2.4 Nanopartículas de plata

2.4.1 Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de las nanopartículas de plata son generadas debido a la interacción del plasmón de resonancia de superficie de estas con la onda electromagnética de luz incidente, como consecuencia del cambio de estructura electrónica inducida por el tamaño nanométrico de las partículas, se produce el fenómeno de resonancia electromagnética en el momento que la longitud de onda absorbida es la necesaria para que el plasmón de superficie vibre con la misma longitud de onda.

El espectro visible va desde los 400 a los 750 nm [118], en este rango de frecuencias se presenta un cambio de color en la solución compuesta de nanopartículas de acuerdo con la longitud de onda. De la forma como se muestra en la Figura 3. aumentando la longitud de onda absorbida respecto al cambio de color [119].

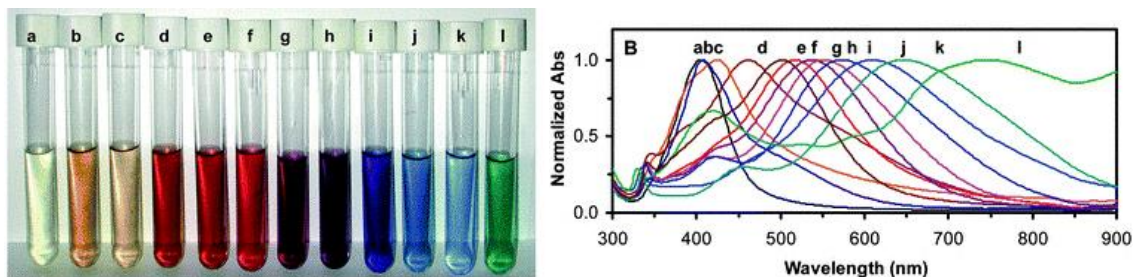


Figura 3. Nanopartículas de plata de colores variados con su correspondiente espectro de absorción [119]

2.5 Nanoalambres de óxido de zinc

2.5.1 Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas del ZnO tuvieron su aparición entre los años 1950 y 1960 [28]. Durante el desarrollo de las propiedades ópticas de los materiales se empiezan a

observar datos interesantes, como el aumento de la conductividad de estos materiales al ser expuestos a la luz. La emisión de luz excita a las portadoras haciendo que el electrón pase de un estado lleno de menor energía a un estado vacío de mayor energía [119- 121].

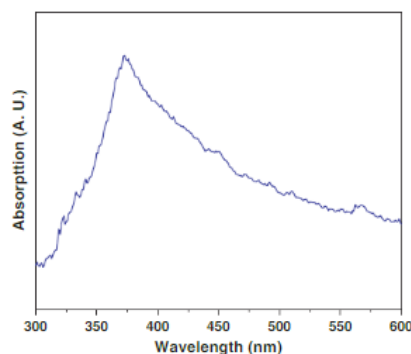


Figura 4. Espectro Uv-Vis de nanorods de ZnO [122]

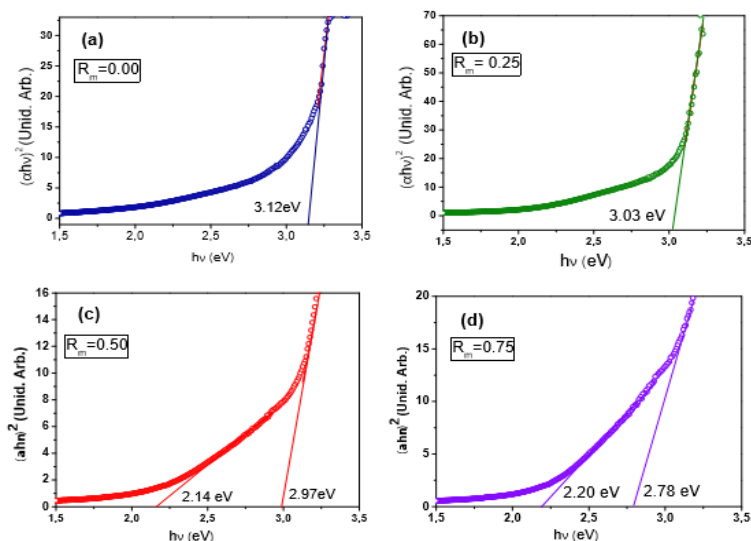


Figura 5. Aproximación de tauc para microalambres de ZnO [123]

La literatura muestra aspectos generales de las propiedades ópticas de nanorods y microvaras de ZnO, que permite hacer un análisis más cercano con los resultados mostrados más adelante y la figura 4, además se muestra graficas del bandgap aproximado por la ecuación de tauc a partir del análisis de absorción óptica para ZnO dopado con cadmio [123].

2.5.2 Propiedades vibracionales

De acuerdo con la predicción de la teoría de grupos. El óxido de zinc es un material semiconductor perteneciente al grupo espacial $P6_3mc$ o C_{6v}^4 , el cual predice un conjunto de modos ópticos, presentados gráficamente en la figura 6. Los modos A_1 y B_1 presentan desplazamientos paralelos al eje C, los modos E_1 y E_2 representan desplazamientos perpendiculares y los modos A_1 y E_1 estimulan la propiedad de oscilar con más de una orientación, incluso presenta actividad en el infrarrojo [123].

Las vibraciones predichas por la teoría de grupos limitan su intensidad de acuerdo con la estructura del material analizada. El vector de propagación de onda del fonón incidente genera movimiento electrónico intrínseco en el material, de tal forma que los electrones vibran respecto a los ejes dimensionales presentes, presentando mayor intensidad con respecto a algunos ejes que permiten más grados de libertad para su movimiento, como también a los tamaños presentes en los materiales analizados. El movimiento intrínseco de los electrones genera partición de los modos vibracionales, lo cual causa la aparición de modos combinados como el transversal óptico y el longitudinal óptico y el desplazamiento iónico interno permite observar diferencias entre un modo acústico y un óptico.

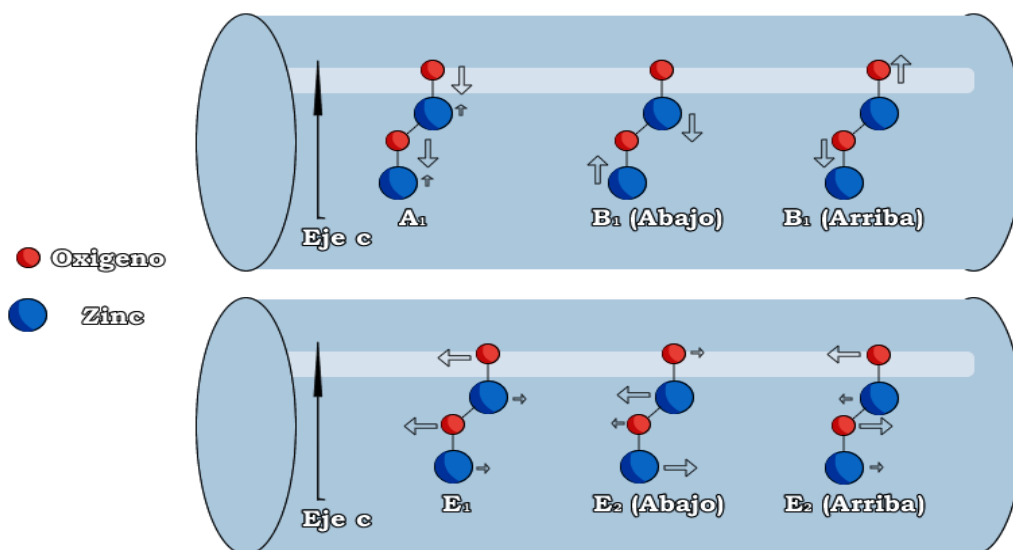


Figura 6. Modos vibracionales propios de ZnO

La polaridad de los modos A_1 y E_1 genera una fuerza de restitución adicional al movimiento de los iones, lo cual genera una variación de las frecuencias [124], de esa forma como se puede ver en la tabla 1, los modos A_1 y E_1 se presentan de las dos maneras, longitudinal óptico (LO) y transversal Óptico (TO). Los modos B_1 y E_2 se presentan de forma (Arriba) y (Abajo), determinando así las vibraciones de los iones respecto a los iones. Para iones pesados como (Zn^{2+}), las frecuencias son bajas (abajo) y para iones livianos como (O^{2-}) las frecuencias son altas (arriba).

Tabla 1. Modos Vibracionales Clasificados

<i>Modos</i>	<i>Correspondencia</i>
A_1	LO
E_1	TO
B_1	Alto
E_2	Bajo

3. Metodología

En el presente capítulo se presenta la metodología seguida para el desarrollo del proyecto de investigación; el trabajo se realizó en el grupo de investigación de física del plasma de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

El desarrollo experimental de la investigación consta de 3 etapas,

La primera etapa consiste en la fabricación de un electrolito a partir de nanopartículas de plata, y está compuesta de los siguientes procesos:

- Síntesis de Ag-NPs, caracterización óptica y morfológica.
- Fabricación del electrolito, caracterización óptica y vibracional

La segunda etapa hace referencia a la fabricación de celdas DSSC y está compuesta de los siguientes procesos:

- Síntesis de ZnO-NWs, caracterización óptica, vibracional y morfológica
- Fabricación de celdas DSSC, usando el electrolito fabricado en la etapa 1.

La tercera etapa consiste en la fabricación de baterías y está compuesta por los siguientes procesos:

- Eliminación de humedad de materiales orgánicos seleccionados (semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde), caracterización vibracional y morfológica.
- Fabricación de batería orgánica, usando el electrolito fabricado en la etapa 1.

A continuación, se muestra cada etapa de forma detallada.

3.1 Etapa 1: Electrolito

3.1.1 Síntesis de Ag-NPs

Después de hacer una revisión de literatura comprendida entre los años 2008-2020 enfocada con la síntesis de nanopartículas de plata, aplicando criterios de inclusión como la asistencia de métodos hidrotermales asistidos por microondas, se tiene como puntos de partida la presencia de un agente reductor, un agente precursor y un agente estabilizante.

Basados en la información recolectada se plantea un método de síntesis que integra algunos procesos, materiales, tiempos de irradiancia tomados de la revisión bibliográfica. Así se escoge almidón como agente reductor [68], como agente estabilizante se utilizó polietilenglicol, debido a su alto punto de ebullición cercano a 250 °C , la sal precursora escogida como objeto de estudio fue nitrato de plata. De esta forma, se espera nanopartículas de tamaños promedio dentro del rango de 20-50 nm con distribuciones de tamaño constantes.

Las nanopartículas de plata se sintetizaron por un método hidrotermal, asistido por microondas, como se muestra en la figura 7. La solución 1 está compuesta por nitrato de plata (Aldrich, 99, 9 %) y almidón soluble (Aldrich), los dos compuestos tienen una relación de 1.2 % y 0.8 % en masa respectivamente. La solución 2 contiene 200 ml de polietilenglicol (PEG) 400 (Aldrich).

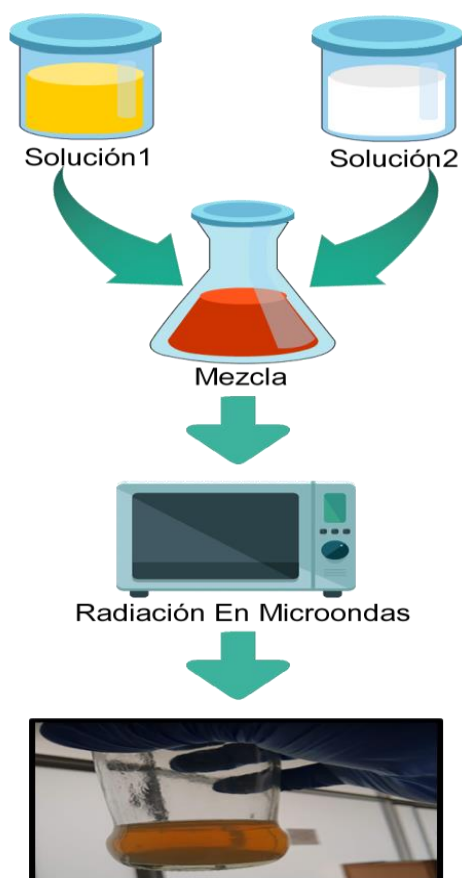


Figura 7. Esquema del proceso de síntesis de Ag-NPS por método hidrotermal asistido por microondas

La solución 1 se deja en ultrasonido durante 15 minutos, luego se mezcla con la solución 2 por agitación magnética a 800 RPM y a temperatura ambiente (16 °C) y la solución resultante se somete a radiación por microondas (whirlpool de 1500 W de potencia) durante 60, 45 y 150 segundos, posteriormente las muestras se someten a tres procesos de lavado, la primera en etanol y las dos siguientes en agua destilada.

Las nanopartículas sintetizadas se caracterizaron por las técnicas de Uv. Vis (PERKLIN ELMER lambda 20) y SEM (TESCAN, modelo vega3 en condiciones de alto vacío "8pa") obteniendo así la información óptica y morfológica.

3.1.2 Fabricación del electrolito

El electrolito se fabricó siguiendo el esquema mostrado en la figura 8, la solución 1 corresponde a nanopartículas de plata obtenidas durante 45 s de exposición a microondas disueltas en 50 ml de polietilenglicol 400 (Aldrich), posteriormente se mezcla la solución 1 con polvo de grafito (Aldrich) con una relación 1% en masa. Así la solución final se sometió a agitación magnética durante 15 minutos a 300 RPM a temperatura ambiente (16°C).

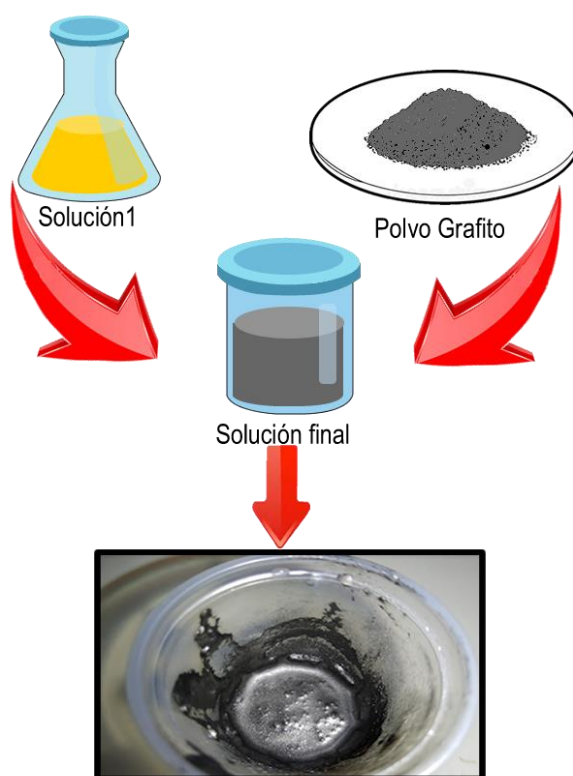


Figura 8. Esquema gráfico de fabricación de electrolito

El producto final se caracterizó por las técnicas de FTIR (CRUKER, ATR Alpha platinum Diamond con escáner de 50 y resolución de 4 cm⁻¹) y Uv. Vis (PERKLIN ELMER lambda 20), obteniendo de esta forma la información vibracional y óptica.

3.2 Etapa 2: Celdas DSSC

3.2.1 Síntesis de ZnO-NWs

Para realizar el proceso de síntesis de ZnO-NWs se tiene en cuenta la revisión bibliográfica previa, por medio de la aplicación de criterios de inclusión como descomposición térmica asistida por microondas. Así, se toma información de dos artículos de gran relevancia, el primero realizado en Chile durante el año 2016 y el segundo en Tailandia en el mismo año [87-88].

La síntesis de ZnO-NWs se desarrolló siguiendo el esquema planteado en la figura 9. Se utilizó óxido de zinc en polvo (Aldrich, grado no analítico), polvo de grafito, un material cerámico refractario, un beaker de vidrio de 2000 mL y un horno de microondas convencional (Whirlpool de 1500 W de potencia).

Los dos materiales se llevaron a una balanza analítica (Explorer Pro) y se midieron en proporción 1-1 en masa. Ambos compuestos se mezclaron de manera homogénea hasta obtener un color gris claro en la muestra, posteriormente se depositó parte de la muestra obtenida en el material cerámico refractario, se introdujo en el horno microondas y se cubrió la muestra con el beaker de 2000 mL. El proceso de irradiación se realizó en un periodo de tiempo comprendido entre 60-180 s, con la potencia máxima del dispositivo.

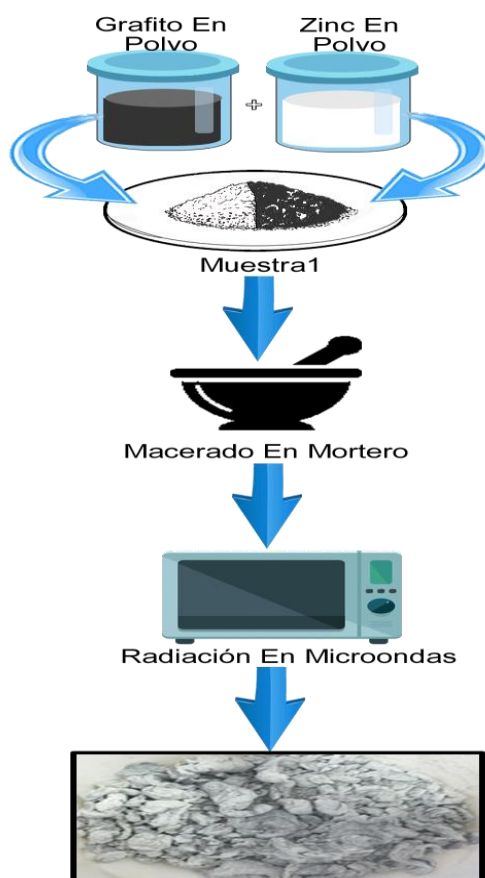


Figura 9. Esquema del proceso de síntesis de ZnO-NWs mediante descomposición térmica por microondas

Al observar la reacción ocurrida dentro del horno microondas que genera un color azul brillante, se tomaron los tiempos correspondientes a 60 s, 90 s, 120 s, 150 s y 180 s, obteniendo un material con la textura similar al algodón. De esta forma el material obtenido se caracterizó sin someterse a proceso de limpieza por la técnica de FTIR (BRUKER, ATR Alpha platinum Diamond con escáner de 50 y resolución de 4 cm⁻¹), Uv. Vis (PERKLIN ELMER lambda 20) y SEM (TESCAN, modelo vega3 en condiciones de alto vacío “8pa”) obteniendo la información vibracional, óptica y morfológica.

3.2.2 Fabricación de celdas DSSC

Tabla 2. Vidrios conductores y su resistencia

<i>Electrodo</i>	<i>Resistencia(Ω)</i>
<i>ITO</i>	34
<i>FTO</i>	12

La fabricación de las celdas solares orgánicas se realizó mediante el esquema mostrado en la figura 10, donde consta de dos electrodos, para los cuales se utilizó vidrios conductores de tipo ITO y FTO (Aldrich), mostrados en la tabla 2. Cada electrodo fue recubierto con pasta de ZnO NWs y polvo de grafito (Aldrich), se disolvieron 6.5 gr de ZnO-NWs (obtenidos durante 150 s de exposición a irradiación por microondas) y 2 gr de polvo de grafito (Aldrich) en ácido nítrico (HNO_3) (Aldrich, 70%) diluido al 1 %, se realizó variaciones en el área de recubrimiento de los dos electrodos como se muestra a continuación en la tabla 3, también se realizó variaciones en el electrodo y el contraelectrodo, los datos están registrados en la tabla 3.

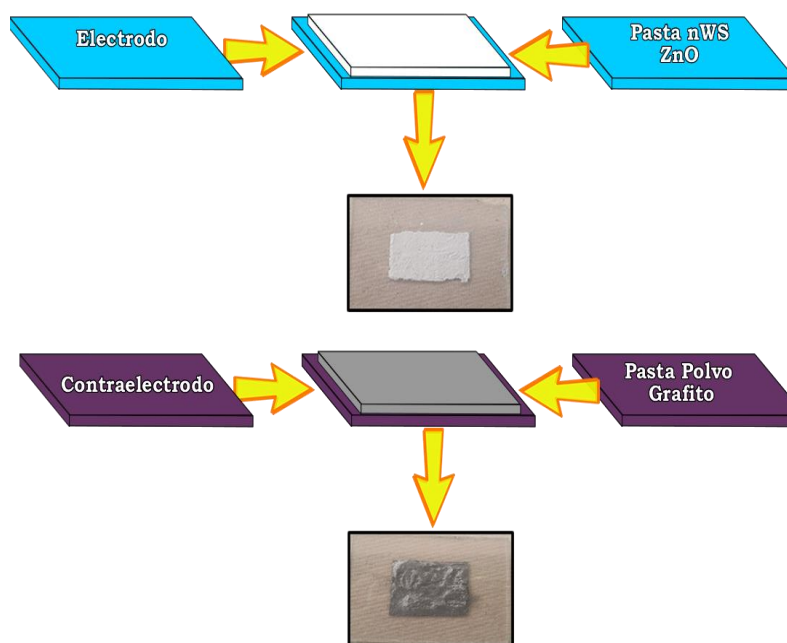


Figura 10. Esquema de Fabricación de Celdas Solares Orgánicas

Tabla 3. Parámetros de Fabricación de Celdas solares orgánicas

Área total sustratos	Electrodo	Contraelectrodo	Espesor película ZnO-NWs (mm)	Porcentaje de recubrimiento
16 cm ²	FTO	ITO	1	12.70
	ITO	FTO	2	15.34
	ITO	FTO	3	18.75
	ITO	FTO	1	19.32
	ITO	FTO	1	21.28
	ITO	FTO	3	30.90
	FTO	ITO	1	32.65
	ITO	FTO	1	32.73

3.3 Baterías orgánicas

3.3.1 Tratamiento de materiales orgánicos (semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde)

Se toma los materiales orgánicos propuestos y se someten a secado en horno a 60 °C durante 96 horas para eliminar el exceso de humedad, luego se someten a macerado en un mortero y tamizaje con una malla de 1mm de ancho de poro, obteniendo polvos semi-finos de semilla. Estos materiales se llevaron a caracterizar por FTIR y SEM. En la figura 11, se muestra el esquema de preparación de las muestras, donde se utilizó el bagazo de la caña de azúcar, la cascara de plátano y la semilla del aguacate.

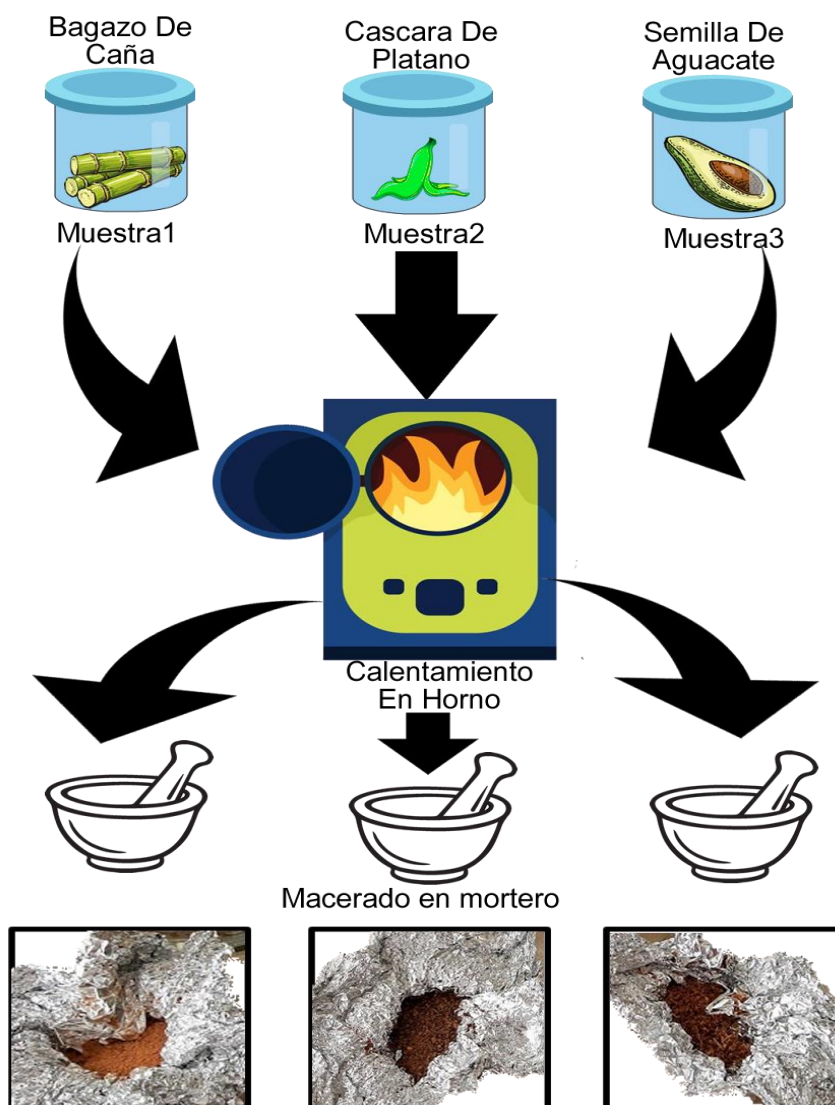


Figura 11. Esquema de preparación de los materiales orgánicos

3.3.2 Fabricación de baterías orgánicas

Para la fabricación de baterías orgánicas, se tuvo en cuenta el esquema mostrado en la figura 12, esta corresponde a una batería de tipo zinc-carbono.

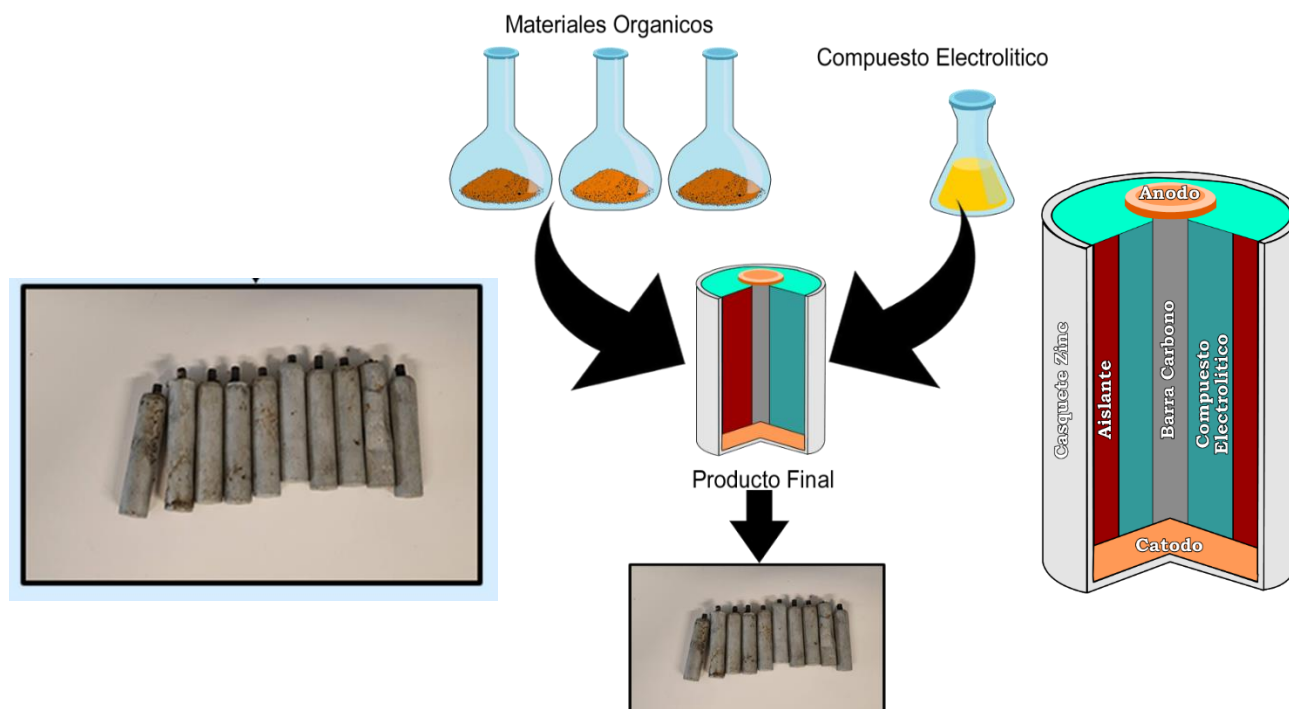


Figura 12. Esquema de fabricación de pilas orgánicas

Como compuesto electrolítico, se utilizaron los materiales orgánicos, cloruro de zinc, cloruro de sodio y el electrolito fabricado en la etapa 1. Se agregaron 0.5 mL de cloruro de zinc, 0.45 gr de cloruro de sodio, 1.2 g de material orgánico y 1ml de electrolito fabricado. De esta manera se fabricaron 9 pilas orgánicas con un peso aproximado de 4.32 gr. La Tabla 4 muestra la relación en masa de cada batería fabricada.

Tabla 4. Composición porcentual en masa de pilas orgánicas fabricadas

<i>Componentes</i>	<i>Porcentaje en masa</i>
<i>Barra grafito</i>	12.3
<i>Casquete</i>	49.5
<i>Compuesto Electrolítico</i>	38.2

El proceso de caracterización de las pilas fabricadas se realizó por medio del análisis de carga y descarga en el potenciostato GAMRY 1000E.

4. Resultados

4.1 Etapa 1: Electrolito

4.1.1 Síntesis de Ag-NPs

Propiedades ópticas

Las muestras sintetizadas se caracterizaron por Uv. Vis, a continuación, se muestra en la figura 13, el espectro de absorbancia correspondiente a las muestras de Ag-NPs sintetizadas..

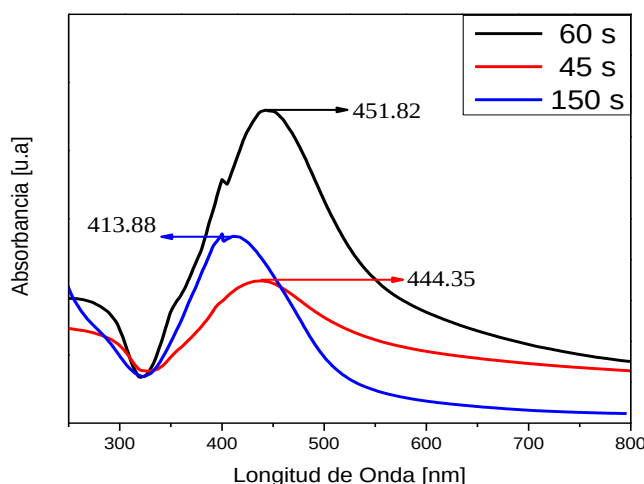


Figura 13. Espectro de Absorbancia de nPS de Ag sintetizadas

El espectro muestra las diferencias en absorbancia para las muestras variando el tiempo de exposición a la radiación por microondas. La muestra escogida para la aplicación requerida corresponde a la que fue expuesta durante un tiempo de 45 s, ya que presenta una anchura a media altura (FWHM por sus siglas en inglés) de 99.58 que corresponde al menor valor de las 3 muestras analizadas.

Los resultados se muestran en la tabla 5, a continuación:

Tabla 5. Relación FWHM, tiempo y centro de pico de absorción

<i>Tiempo de Radiación[s]</i>	<i>Pico Absorbancia [nm]</i>	<i>FWHM</i>
45	444.35	99.58
60	451.82	120.52
150	413.88	155.39

Propiedades morfológicas

La caracterización por SEM, se realizó a las muestras irradiadas durante 45 s, estos resultados se muestran a continuación en la figura 14.

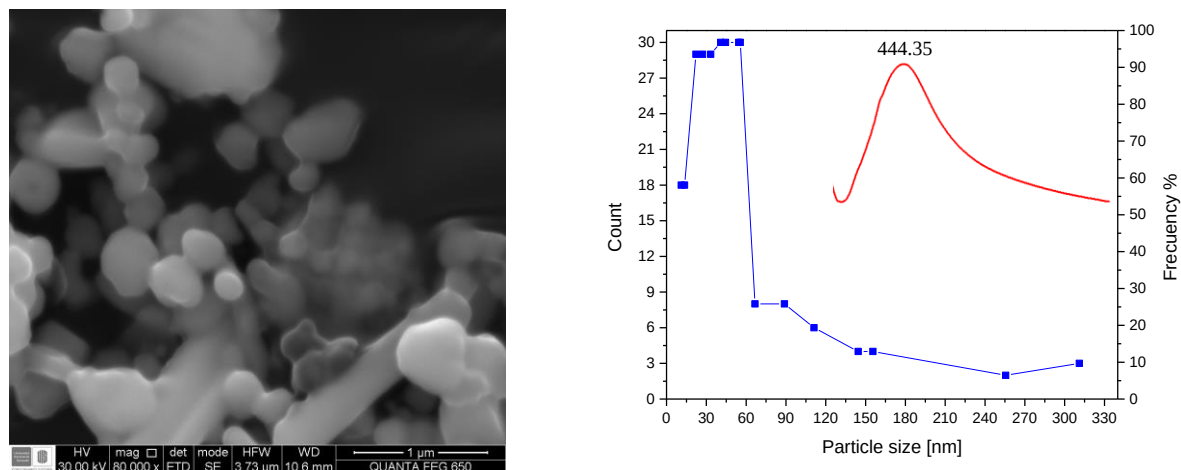


Figura 14. a) Micrografía de Ag-NPs, b) Distribución de tamaños Ag-NPs

La figura 14a muestra la micrografía SEM de la muestra analizada y la figura 14b presenta la distribución de tamaños de partículas tomando como referencia 100 partículas con diámetros comprendidos entre 11.111-311.111 nm con una mayor presencia y aglomeración de partículas de tamaños comprendidos entre 40.816-55.556 nm.

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos son precisos en cuanto a los tamaños esperados ya que el análisis de distribución de tamaños presenta mayores aglomeraciones de partículas de tamaños comprendidos entre 20-50 nm, los ensanchamientos de los picos de absorbancia y su respectivo valor de anchura a media altura (FWHM) se pueden deber a la presencia de diferentes tamaños y formas [63], además en el análisis por Uv.Vis se obtiene un pico de absorción cercano a los 430 nm y la banda característica de Ag-NPs que representa la resonancia del plasmón de superficie se encuentra alrededor de los 400 nm [125-126-127-128].

4.1.2 Fabricación del electrolito

Propiedades vibracionales

La figura 15, muestra el espectro infrarrojo del electrolito, a continuación, se muestra en la Tabla 6, la correspondencia de los modos vibracionales activados durante el análisis del electrolito.

Tabla 6. Correspondencia modos activados por FTIR en el electrolito fabricado [129]

<i>Banda (cm⁻¹)</i>	<i>Asignación</i>
3312.24	O-H
1644.11	C-O
1088.06	C-O

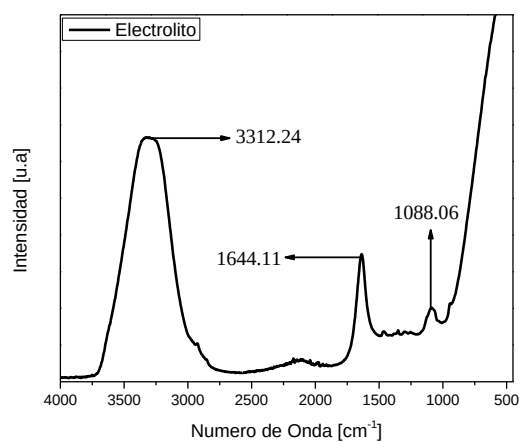


Figura 15. Espectro FTIR del electrolito fabricado

Propiedades ópticas

Se realizó la caracterización por Uv. Vis del electrolito fabricado. En la Figura 16, se muestra el espectro de absorción óptica con un pico cercano a los 400 nm.

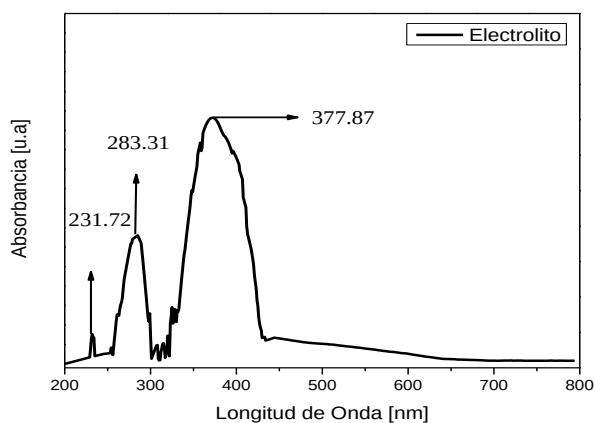


Figura 16. Espectro de absorción óptica del electrolito fabricado

La Tabla 7 muestra a continuación la relación del pico de absorción y la anchura a media altura (FWHM),

Tabla 7. Relación FWHM y centro de pico de absorción

<i>Pico</i>	<i>FWHM</i>
<i>Absorbancia</i>	
<i>[nm]</i>	
377.87	66.57

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos de la caracterización del electrolito fabricado muestran la activación de modos vibracionales propios de los materiales analizados, en este caso con mayores intensidades para el grafito, así también se encuentra mayor absorción y energía a causa de la interacción del efecto de plasmón de resonancia de las nanopartículas de plata con el polvo de grafito. Los modos propios activados obedecen a la amplificación de los modos del grafito, representados en la tabla 6.

Se presenta también un pico de absorbancia intenso en el análisis por Uv. Vis, este se puede deber a la resonancia del plasmón de superficie que se encuentra alrededor de los 400 nm[125-126-127-128], y el aumento en la intensidad puede ser atribuido a la interacción de las Ag-NPs con el grafito, debido a que estos dos materiales son conductores, se observa otro pico a los 230 nm aproximadamente, el cual es asignado a la tensión del enlace carbono-oxígeno y un pico de absorción cercano a los 300 nm que corresponde al punto de absorción del polietilenglicol, que no estuvo presente en el análisis óptico realizado a las Ag-NPs de la sección 4.1.1, debido a que para este análisis las Ag-NPs se suspendieron en una solución con PEG400, mientras que para el anterior acaso se utilizó una solución de agua destilada.

La disminución del parámetro de anchura a media altura FWHM presenta una disminución al analizar la muestra de Ag-NPs con grafito, esto puede ser un indicio de una mejor distribución de tamaños de partícula, además que puede ser un claro indicio de la presencia de un mayor número de partículas portadoras de carga.

4.2 Etapa 2: Celdas DSSC

4.2.1 Síntesis de ZnO-NWs

Propiedades vibracionales

La Figura 17, muestra el espectro de las bandas vibracionales presentes en las muestras analizadas.

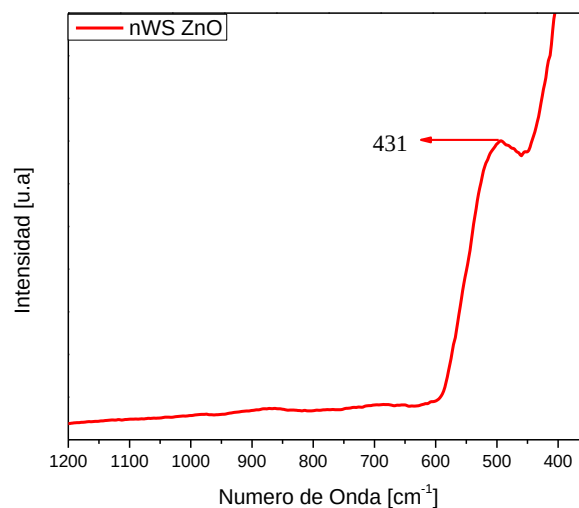


Figura 17. Espectro FTIR de ZnO-NWs de ZnO

Propiedades ópticas

El espectro de absorbancia de ZnO-NWs de la Figura 18, muestra un pico ubicado a los 352 nm.

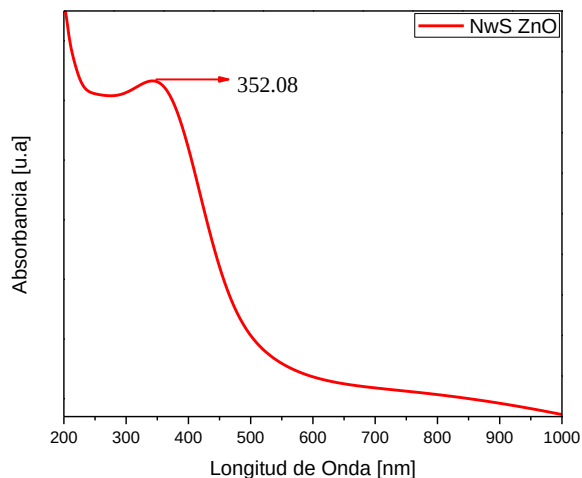


Figura 18. Espectros Uv. Visible de NWS de ZnO

Se realizó una extrapolación directa de los espectros Uv. Vis, utilizando la ecuación de tauc [130], se realizó el cálculo de los anchos de banda de los materiales. En la Figura 19, se muestra la gráfica de absorción óptica $(\alpha h\nu)^2$ vs $h\nu$ de ZnO-NWs. El bandgap para los nanoalambres es de 3.36 eV aproximadamente.

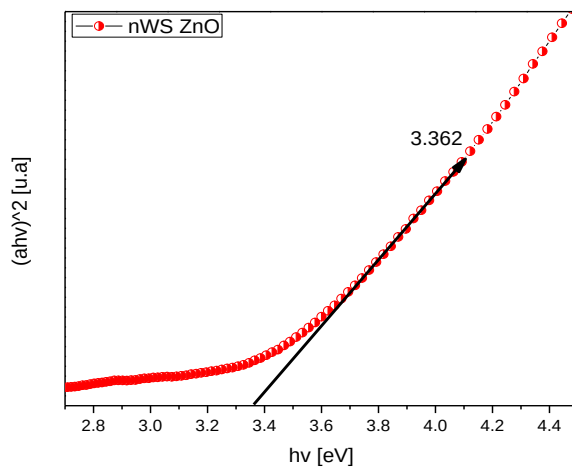


Figura 19. Extrapolación lineal análisis bandgap

Propiedades morfológicas

A continuación, en la figura 20 se muestran las micrografías SEM de las muestras de ZnO-NWs, para diferentes tiempos de exposición a radiación por microondas.

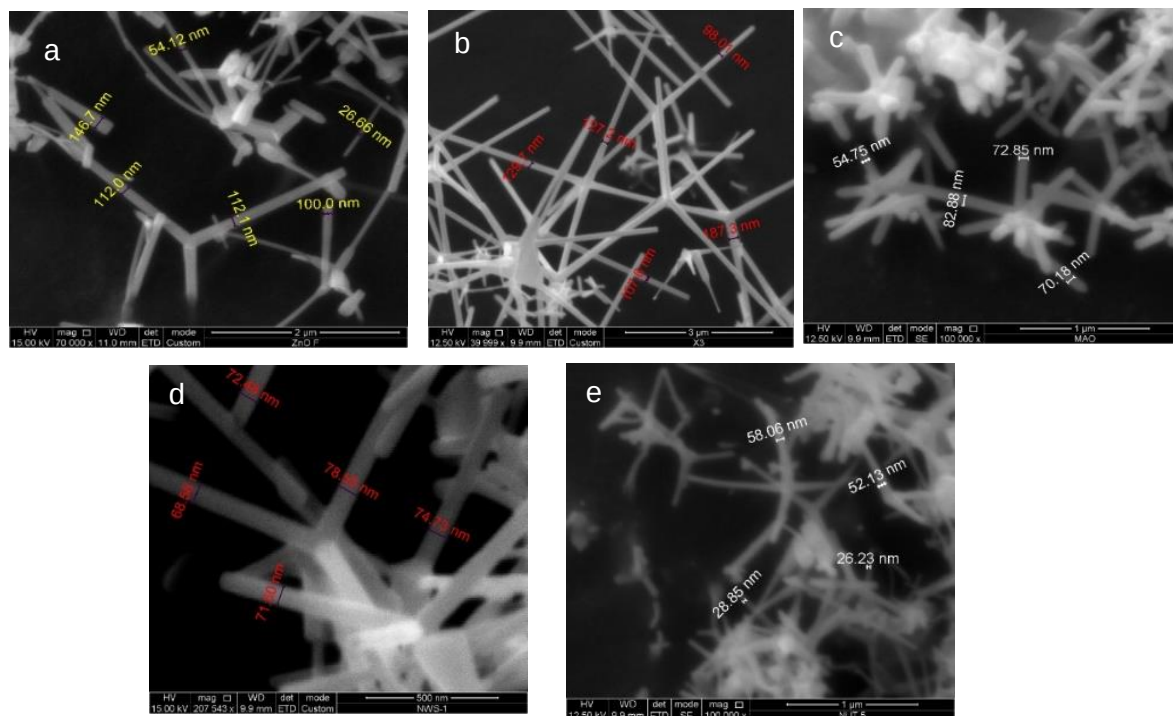


Figura 20. a) NWs sintetizados en 30 s, b) NWs sintetizados en 60 s, c) NWs sintetizados en 90 s, d) NWs sintetizados en 120 s, e) NWs sintetizados en 150 s

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos para las muestras de ZnO-NWs muestran en el espectro vibracional de FTIR de la figura 17, la existencia de una banda de absorción centrada en 431 cm^{-1} , esta banda se atribuye a la frecuencia de estiramiento ZnO de los enlaces Zn – O [131] y puede brindar un indicio que relaciona la intensidad de esta banda con la morfología, así, las vibraciones moleculares del compuesto se presentan con mayor

intensidad y grado de libertad en el eje longitudinal, debido a la disminución de tamaño presente en el eje transversal.

El análisis realizado por Uv.Vis presentado en la figura 18, muestra un pico de absorbancia en 352 nm lo cual indica que el material absorbe en la región del ultravioleta, además se verifica en la figura 19 que el band gap de los ZnO-NWs tienen un valor muy aproximado al valor teórico establecido para el óxido de zinc, correspondiente a 3.37 eV[120].

Las micrografías mostradas en la figura 20, presentan ZnO-NWs que varían sus diámetros de 26.29 nm a 187.30 nm, además de ver un crecimiento desordenado de las nanoestructuras que puede deberse a que el proceso de rompimiento de enlaces cuando la muestra es expuesta a radiación por microondas se presenta de forma aleatoria, además es importante destacar la relevancia del tiempo en el proceso, ya que la potencia se mantuvo constante en su variable máxima de 1500 W y a medida que el tiempo aumenta, las nanoestructuras poseen menores tamaños, en el caso de los nanoalambres con diámetro promedio de 70,16 nm para un tiempo de 150 segundos, mostrados en la figura 20.d.

4.2.2 Fabricación de celdas DSSC

La Tabla 8, muestra las características de fabricación de las celdas DSSc. La medición de voltaje y corriente se realizó con la exposición directa al sol y se midió con un multímetro digital Modern Digital Multi.purpose Meters UT70 Series.

Tabla 8. Características de celdas DSSc fabricadas.

<i>Variación sustratos conductores</i>		<i>Parámetros de recubrimiento</i>		<i>Resultados obtenidos</i>		
<i>Electrodo</i>	<i>Contraelectrodo</i>	<i>Espesor película nWS ZnO (mm)</i>	<i>Porcentaje de recubrimiento</i>	<i>Densidad de corriente [$\frac{mA}{cm^2}$]</i>	<i>Voltaje [mV]</i>	<i>Corriente [mA]</i>
FTO	ITO	1	12.7	0	0.005	0
ITO	FTO	1	19.32	0.0004	131.58	0.001
ITO	FTO	1	21.28	0	0.26	0
FTO	ITO	1	32.65	0.0346	450	0.107
ITO	FTO	1	32.73	0.0352	470	0.12
ITO	FTO	2	15.34	0.0002	13.88	0.001
ITO	FTO	3	18.75	0.0004	277.59	0.002
ITO	FTO	3	30.9	0	16.56	0

A continuación, se presenta la figura 21, donde se presenta la relación de densidad de corriente generada por cada celda y su respectivo voltaje, respecto a los espesores de película.

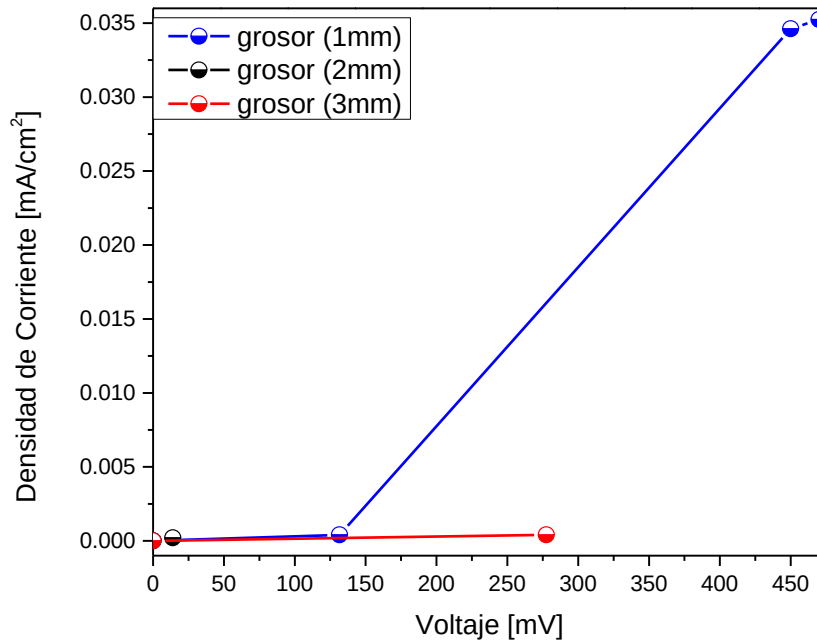


Figura 21. Densidad de corriente vs voltaje generado por las celdas solares orgánicas.

Discusión de resultados

Los resultados obtenidos son precisos de acuerdo con lo esperado, ya que el electrolito fabricado permite la conversión de energía solar a energía eléctrica de los dispositivos fotovoltaicos realizados, para estos es visible que las celdas solares fabricadas con menores espesores y mayor porcentaje de recubrimiento sobre el sustrato conductor, se presentan mayores valores de voltaje y corriente. Además, para los dispositivos que siguen las características nombradas anteriormente no es significativo el cambio de sustratos para su uso como electrodo y contraelectrodo.

4.3 Baterías orgánicas

4.3.1 Tratamiento de materiales orgánicos (semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde),

Propiedades vibracionales

- Bagazo de caña

A continuación, se muestra en la figura 22, el espectro FTIR del bagazo de la caña de azúcar y en la tabla 9 se presenta la correspondencia de los modos vibracionales activados mediante el análisis.

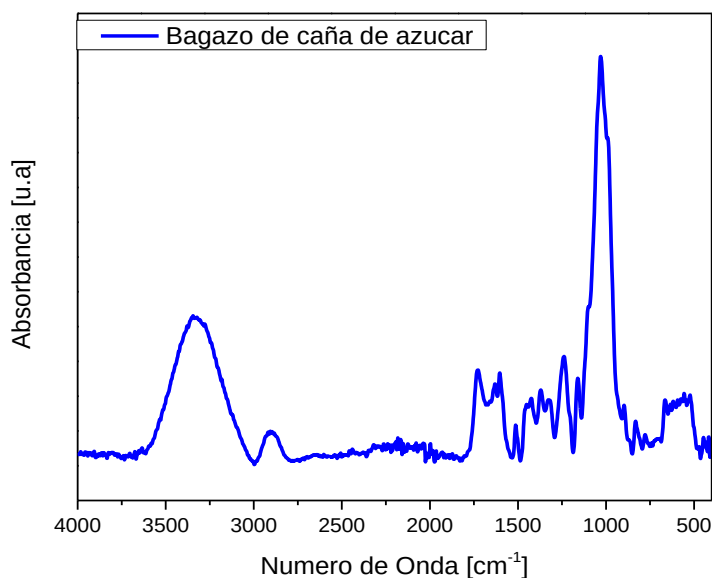


Figura 22. Espectro FTIR de bagazo de caña de azúcar

Tabla 9. Correspondencia de modos vibracionales activados en bagazo de caña [66]

<i>Banda (cm⁻¹)</i>	<i>Enlace y compuesto orgánico</i>
3300	Amplia absorción R-OH, Ar-OH
2875	simétrico C-H Alcano (CH ₃)C=O/N=O
Doblete 1750-1625	Fuerte y variable Ar, C=C /N=O
1500	Str.C=C Pirrol
Multiplete 1490-1240	Alcanos C-H /C=O Aldehídos
1250	C=O Aldehídos
1130	C(CH ₃) ₂ /N-O/ Anillo aromático

- **Cascara de plátano**

A continuación, se muestra en la figura 23, el espectro FTIR de la cascara de plátano y en la tabla 10 se presenta la correspondencia de los modos vibracionales activados mediante el análisis.

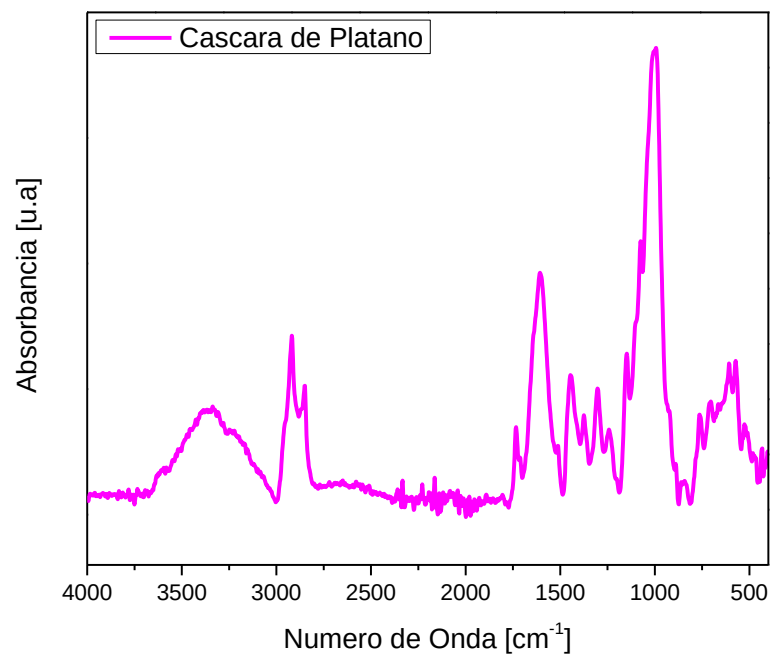


Figura 23. Espectro FTIR de Cascara de Plátano

Tabla 10. Correspondencia de modos vibracionales activados en cascara de plátano
[67]

<i>Banda (cm⁻¹)</i>	<i>Enlace y compuesto orgánico</i>
3300	Amplia absorción R-OH, Ar-OH
<i>Doblete 2900-2800</i>	Deformación simétrica y asimétrica C-H
1750	C=O
1625	Alargamiento variable Ar, C=C /N=O
<i>Multiplete 1490-1250</i>	Alcanos C-H /C=O Aldehídos
1125	deformación C-H sustitución en Bz
1050	C-OH alcohol primario
1000	Deformación y absorción fuerte Alqueno mono sustituido C-H

- **Semilla de aguacate**

A continuación, se muestra en la figura 24, el espectro FTIR de la semilla de aguacate y en la tabla 11 se presenta la correspondencia de los modos vibracionales activados mediante el análisis.

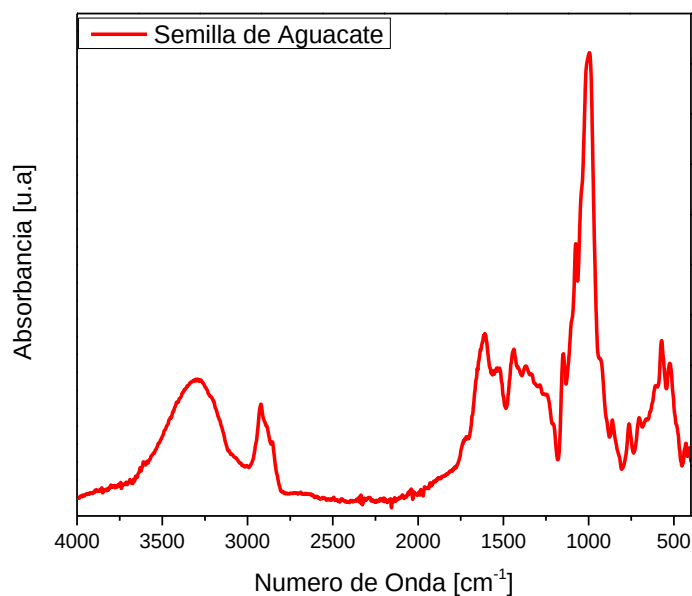


Figura 24. Espectro FTIR de Semilla de aguacate

Tabla 11. Correspondencia de modos vibracionales activados en semilla de aguacate
[68]

<i>Banda (cm⁻¹)</i>	<i>Enlace y compuesto orgánico</i>
3260	Amplia absorción R-OH, Ar-OH
2875	Alargamiento simétrico C-H Alcano (CH ₃) C=O/N=O
1625-1500	C=C/C=O
1490	Deformación simétrica C-H -C(CH ₃) ₂ Estructura C-H -
1375	Alcano -CH ₃
1125	C(CH ₃) ₂ /N-O/ Anillo aromático
1015-1000	Alcoholes primarios C-OH alargamiento

Propiedades morfológicas

La figura 25 muestra las micrografías realizadas a los materiales orgánicos después del proceso de eliminación de humedad y macerado en mortero.

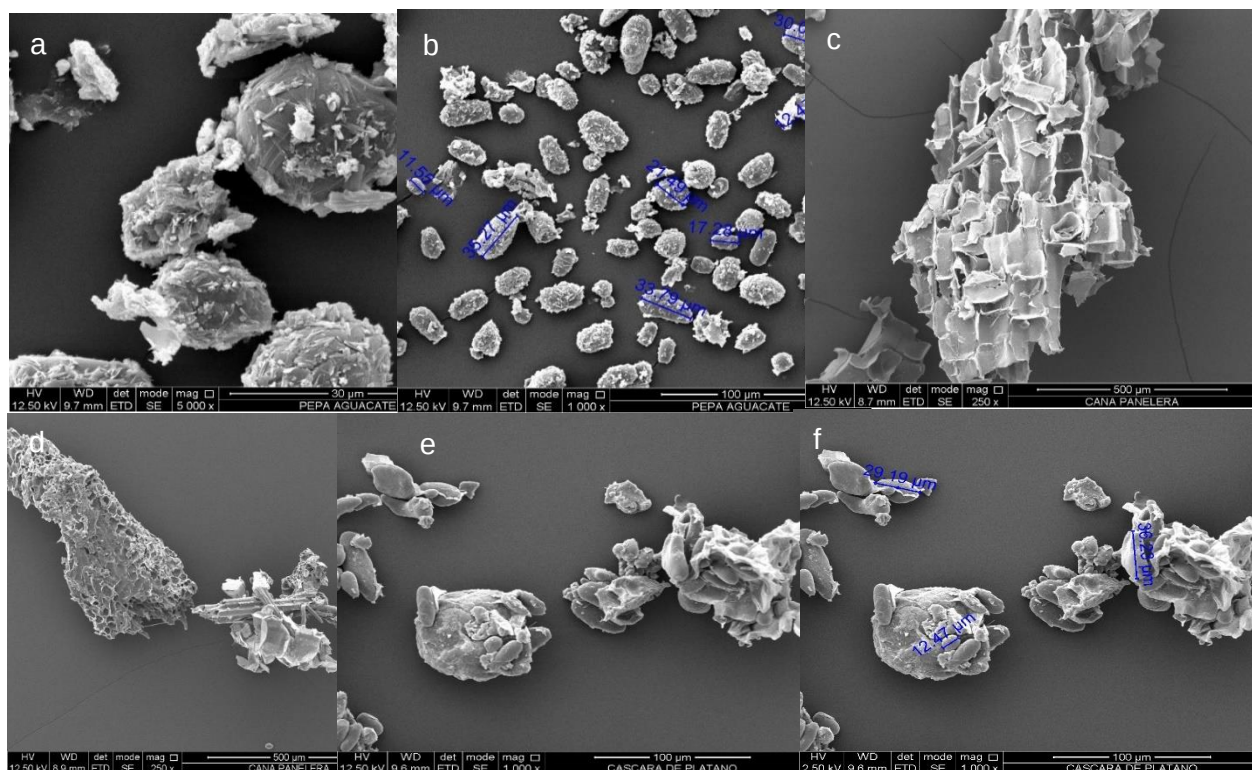


Figura 25. a). Micrografías SEM de semilla de aguacate 5000 X, b). Micrografías SEM de semilla de aguacate 1000 X c). Micrografías SEM de caña de azúcar 250 X, d). Micrografías SEM de caña 250 X, e). Micrografías SEM de cascara de plátano 1000 X, f). Micrografías SEM de cascara de plátano 1000 X

Discusión de resultados

Los espectros obtenidos mediante los análisis por FTIR de los materiales orgánicos permiten obtener los grupos funcionales presentes en el bagazo de la caña de azúcar, la cáscara de plátano y la semilla de aguacate con la presencia de cadenas largas de alcanos, alcoholes y polifenoles característicos en compuestos aromáticos, ácidos grasos, dobles enlaces $C=C$, $C=O$, $C=N$, de esta forma se puede comprobar la existencia de celulosa que es visible en los análisis realizados por SEM, donde se observan fibras y cúmulos de esta. Para la semilla de aguacate se observan tamaños de partícula promedio de 24,10 μm , para el bagazo de caña es claro que la presencia de celulosa irrumpe en el proceso de pulverización y la obtención de semillas de anchos constantes y pequeños debido a sus amplias redes de conexión entre enlaces, esto es visible en el análisis por SEM mostrado en la figura 25.c y d, mientras que para la cascara de plátano correspondiente a las figuras 25 e y f, se presentan anchos de semilla promedio de 29.42 μm .

4.3.2 Fabricación de baterías orgánicas

A continuación, se muestra la figura 26 que representa las curvas de voltaje para las baterías orgánicas fabricadas siguiendo los parámetros propuestos en la sección 3.3.2.

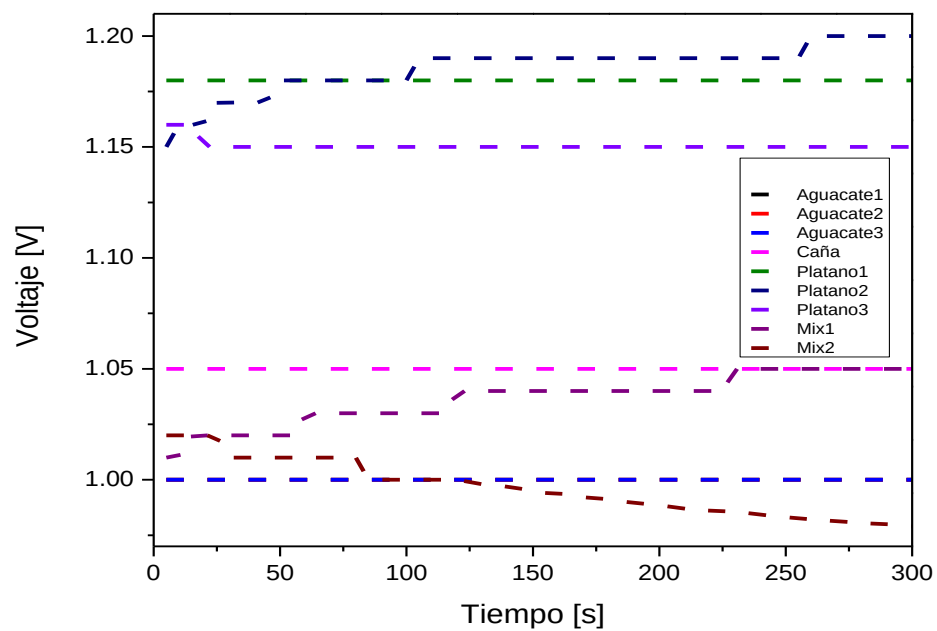


Figura 26. Curvas de Voltaje para pilas orgánicas

La figura 27 muestra un análisis de estabilidad de las baterías orgánicas fabricadas, discriminadas por materiales.

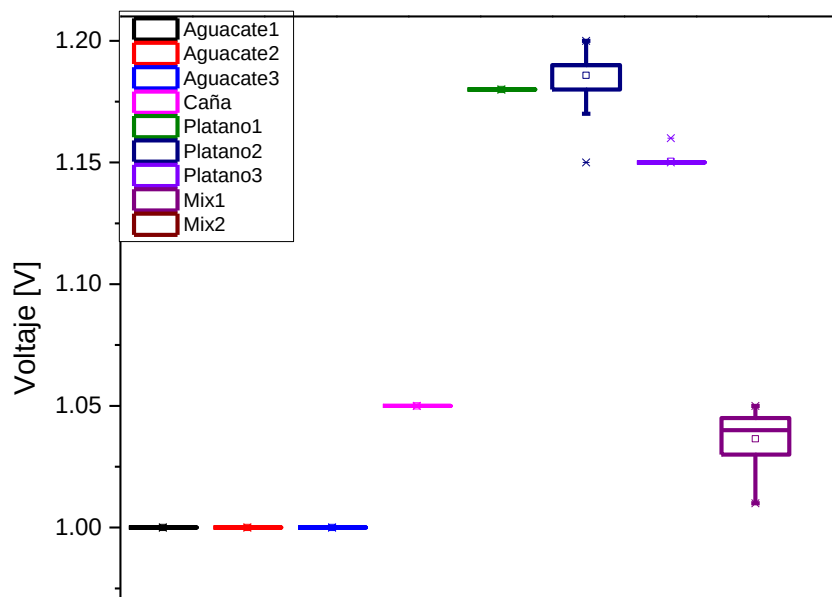


Figura 27. Análisis de Estabilidad para cada pila orgánica

A continuación, en la figura 28, se muestra las curvas de descarga mediante la implementación electrónica programada del potencióstato simulando, un circuito eléctrico con una resistencia de 1kohm conectado a cada batería.

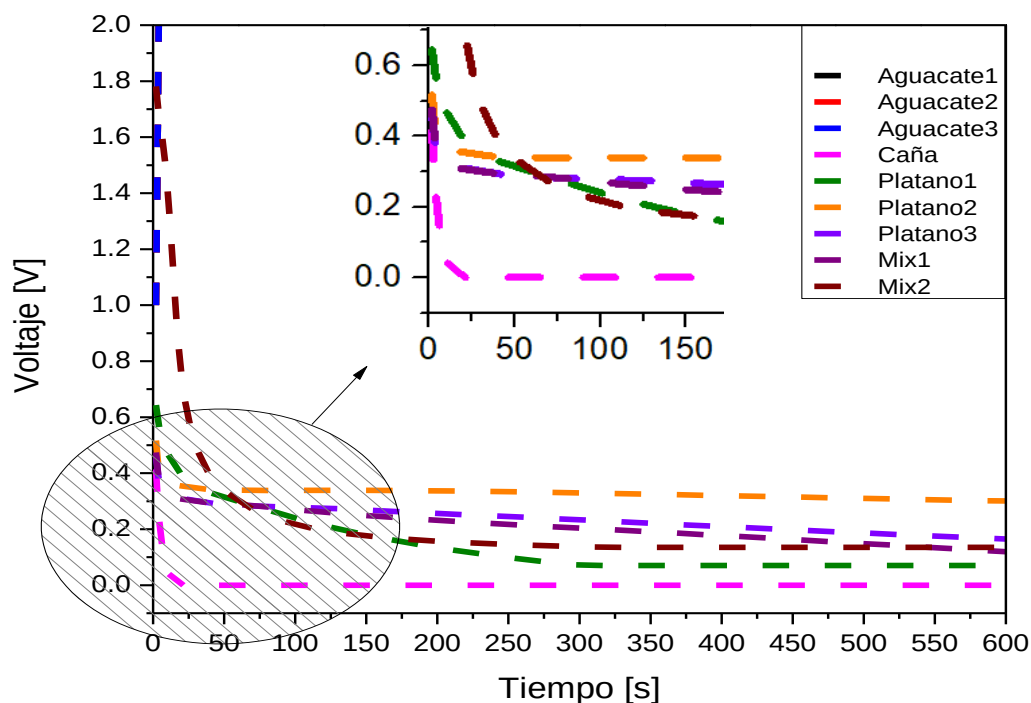


Figura 28. Curvas de descarga de pilas orgánicas

Discusión de resultados

Análisis de voltaje

Los resultados obtenidos muestran que el electrolito fabricado a partir de Ag-NPs cumple su papel en las baterías orgánicas fabricadas a partir de materiales orgánicos. Las baterías orgánicas fabricadas poseen voltajes iniciales debido a la interacción de la solución electrolítica, el material orgánico y los dos electrodos presentes, la mejor estabilidad es para las pilas fabricadas con semilla de aguacate, representada por un voltaje comprendido en el intervalo de 1,07 a 1,18 voltios manteniéndose estable para el tiempo de análisis igual a 300 segundos, estas cumplen la característica de estabilidad necesaria para el funcionamiento de dispositivos eléctricos y electrónicos que necesitan

una alimentación cercana a estos valores, su estabilidad puede deberse al acoplamiento entre partículas y a lo establecido mediante el análisis por SEM, ya que la semilla de aguacate presenta partículas de tamaños constantes, mientras que el bagazo de caña y el plátano presentan cúmulos y fibras de celulosa.

Análisis de descarga

Entre los resultados obtenidos, mostrados en la figura 28, se observa que las baterías fabricadas de plátano logran estabilizarse en un voltaje comprendido en el rango de 0.3-0.4 V, en un tiempo menor a 25 s, esto puede deberse a la existencia de dobles enlaces C=C, C=O, C=N en el material y que la presencia de grafito en el electrolito fabricado permite que la interacción entre el ánodo y el cátodo de las baterías genere una transferencia más eficiente de electrones en el proceso de reducción del casquete de zinc metálico.

Análisis de eficiencia

La eficiencia comparada con una pila genérica AAA, permite analizar que las pilas orgánicas presentan un rango de eficiencia comprendido entre un 60 % a 83 % de las pilas de referencia. Las pilas fabricadas son más livianas que las genéricas y su carácter orgánico aporta en la búsqueda de soluciones al problema ambiental actual, en cuanto al proceso de descarga de las pilas fabricadas, se nota una mejor eficiencia para las pilas con residuos de cascara de plátano, corroborado por los análisis vibracional y morfológico de los residuos, ya que los enlaces compuestos aromáticos y polifenoles presentes con mayor intensidad en la cascara de plátano pulverizada posee cadenas más cortas de grupos funcionales y permiten una mejor migración electrónica interna.

5. Conclusiones

Se desarrollaron dos métodos simples asistidos por microondas para la síntesis rápida de Ag-NPs y ZnO-NWs, para el primer caso se usa nitrato de plata como precursor, PEG400 como estabilizante y almidón como reductor, para el segundo caso se utiliza polvo de óxido de zinc y polvo de grafito.

El estudio de semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde con aplicaciones en baterías orgánicas resulta novedoso debido a que se han realizado estudios de los materiales principales, pero no se ha buscado su aplicación en la línea de investigación referente a sistemas de almacenamiento.

Se ha fabricado un electrolito a partir de Ag-NPs que cumple con características de versatilidad para ser usado en celdas DSSc basadas en ZnO-NWs y baterías orgánicas a partir de materiales orgánicos (semilla de aguacate, bagazo de caña de azúcar y cascara de plátano verde), además de ser un buen conductor iónico, la presencia de PEG en su composición, permite una estabilidad en cuanto a temperatura se refiere.

6. Perspectivas

El desarrollo de la tesis abre dos líneas de investigación en el grupo de investigación de física del plasma, ya que se puede enfocar futuros trabajos a la mejora de eficiencia en los dispositivos fabricados, para celdas solares se puede generar películas con menor espesor y mayor área de NWs de ZnO, variando también las concentraciones de NWs y agregando colorantes orgánicos, para las baterías orgánicas el campo es más amplio ya que se puede buscar procesos de macerado más estrictos generando anchos de partícula más constantes, lo cual permitiría una mejor migración electrónica interna y por tanto mejorar las capacidades de almacenamiento energético.

La técnica de radiación por microondas puede ser objeto de estudios con control de parámetros como la potencia y la temperatura de manera que se verifique la variación de los procesos de síntesis respecto a esos parámetros para la síntesis de nanomateriales semiconductores y metales, en este caso óxido de zinc y plata.

7. Productos Asociados

Un artículo en revisión por parte de los tutores:

Síntesis masiva de nanoalambres de óxido de zinc con radiación por microondas

Un artículo en proceso de escritura:

Fabricación de Celdas Solares y Baterías Orgánicas usando como Electrolito Ag-NPs

Un proceso de patente:

Fabricación de baterías orgánicas basadas en semilla de aguacate, bagazo de caña y cascara de plátano usando un electrolito a partir de Ag-NPs

Participación en eventos:

- 1. 6th Colombian Conference of Engineering Physics and 1st International Conference on Applied Physics, Engineering & Innovation** Tipo de evento: Congreso Ámbito: Internacional Realizado el: 2018-10-22 00:00:00.0, 2018-10-26 00:00:00.0 en BUCARAMANGA - Universidad Industrial de Santander
Nombre del producto: Síntesis de Nanoalambres y Nanolaminas de Oxido de Zinc para Aplicaciones en Celda Solar Multicapa Tipo de producto: Producción técnica - Presentación de trabajo – Ponencia.
- 2. 6th Colombian Conference of Engineering Physics and 1st International Conference on Applied Physics, Engineering & Innovation** Tipo de evento: Congreso Ámbito: Internacional Realizado el: 2018-10-22 00:00:00.0, 2018-10-26 00:00:00.0 en BUCARAMANGA - Universidad Industrial de Santander.

Nombre del producto: Fabricación de Celda Solar Orgánica con Base en ZnO y Cu
Tipo de producto: Producción técnica - Presentación de trabajo – Ponencia

Bibliografía

- [1] D. nacional de planeacion de Colombia, “Energy Demand Situation in Colombia,” *Dep. Nac. Planeac. Colombia*, vol. 2ed, p. 136, 2017.
- [2] D. Kishore Kumar *et al.*, “Functionalized metal oxide nanoparticles for efficient dye-sensitized solar cells (DSSCs): A review,” *Mater. Sci. Energy Technol.*, vol. 3, pp. 472–481, 2020, doi: 10.1016/j.mset.2020.03.003.
- [3] UPME, “Proyección de la demanda de energía eléctrica y potencia máxima en Colombia,” p. 60, 2019.
- [4] PIRS, “Informe de caracterización de residuos de pilas y luminarias. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá,” 2008.
- [5] A. Kajbafvala *et al.*, “Nanostructure sword-like ZnO wires: Rapid synthesis and characterization through a microwave-assisted route,” *J. Alloys Compd.*, vol. 469, no. 1–2, pp. 293–297, 2009, doi: 10.1016/j.jallcom.2008.01.093.
- [6] J. Olmedo, “Diseño de celdas solares sensibilizadas con tinta N719 empleando electrolitos en gel de red polimérica interpenetrada, a base de poli (anilina-co-o fenilendiam ina) o

polianilina dopados con ι - carragenina,” *Cimav*, vol. 7, p. 114, 2016.

[7] K. Hara, T. Horiguchi, T. Kinoshita, K. Sayama, H. Sugihara, and H. Arakawa, “Highly efficient photon-to-electron conversion with mercurochrome-sensitized nanoporous oxide semiconductor solar cells,” *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 64, no. 2, pp. 115–134, 2000, doi: 10.1016/S0927-0248(00)00065-9.

[8] M. Grätzel, “Molecular photovoltaics that mimic photosynthesis,” *Pure Appl. Chem.*, vol. 73, no. 3, pp. 459–467, 2001, doi: 10.1351/pac200173030459.

[9] M. Y. A. Rahman, M. M. Salleh, I. A. Talib, and M. Yahaya, “Effect of surface roughness of TiO₂ films on short-circuit current density of photoelectrochemical cell of ITO/TiO₂/ PVC-LiClO₄/graphite,” *Curr. Appl. Phys.*, vol. 5, no. 6, pp. 599–602, 2005, doi: 10.1016/j.cap.2004.08.003.

[10] E. Galoppini *et al.*, “Fast electron transport in metal organic vapor deposition grown dye-sensitized ZnO nanorod solar cells,” *J. Phys. Chem. B*, vol. 110, no. 33, pp. 16139–16161, 2006, doi: 10.1021/jp062865q.

[11] A. Tiwari and M. Snure, “Synthesis and characterization

of ZnO nano-plant-like electrodes,” *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 8, no. 8, pp. 3981–3987, 2008, doi: 10.1166/jnn.2008.299.

[12] Z. Yang, H. Peng, W. Wang, and T. Liu, “Crystallization behavior of poly(ϵ -caprolactone)/layered double hydroxide nanocomposites,” *J. Appl. Polym. Sci.*, vol. 116, no. 5, pp. 2658–2667, 2010, doi: 10.1002/app.

[13] J. Villanueva, J. A. Anta, E. Guillén, and G. Oskam, “Numerical simulation of the current-voltage curve in dye-sensitized solar cells,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 113, no. 45, pp. 19722–19731, 2009, doi: 10.1021/jp907011z.

[14] S. Suresh, A. Pandikumar, S. Murugesan, R. Ramaraj, and S. P. Raj, “Photovoltaic performance of solid-state solar cells based on ZnO nanosheets sensitized with low-cost metal-free organic dye,” *Sol. Energy*, vol. 85, no. 9, pp. 1787–1793, 2011, doi: 10.1016/j.solener.2011.04.016.

[15] J. Huang, Z. Yin, and Q. Zheng, “Applications of ZnO in organic and hybrid solar cells,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 4, no. 10, pp. 3861–3877, 2011, doi: 10.1039/c1ee01873f.

[16] J. Navas *et al.*, “Direct estimation of the electron diffusion length in dye-sensitized solar cells,” *J. Phys. Chem. Lett.*, vol.

2, no. 9, pp. 1045–1050, 2011, doi: 10.1021/jz200340h.

[17] J. S. Bendall *et al.*, “An efficient DSSC based on ZnO nanowire photo-anodes and a new D- π -A organic dye,” *Energy Environ. Sci.*, vol. 4, no. 8, pp. 2903–2908, 2011, doi: 10.1039/c1ee01254a.

[18] E. Guillén, L. M. Peter, and J. A. Anta, “Electron transport and recombination in ZnO-based dye-sensitized solar cells,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 115, no. 45, pp. 22622–22632, 2011, doi: 10.1021/jp206698t.

[19] P. Kung *et al.*, “Photovoltaic devices based on quantum dot functionalized nanowire arrays embedded in an organic matrix,” *Quantum Sens. Nanophotonic Devices IX*, vol. 8268, p. 82680S, 2012, doi: 10.1117/12.914372.

[20] W. A. Chamorro Coral and S. Urrego Riveros, “Celdas solares orgánicas, una perspectiva hacia el futuro,” *Elementos*, vol. 2, no. 2, 2013, doi: 10.15765/e.v2i2.181.

[21] M. Y. A. Rahman, A. A. Umar, R. Taslim, and M. M. Salleh, “Effect of organic dye, the concentration and dipping time of the organic dye N719 on the photovoltaic performance of dye-sensitized ZnO solar cell prepared by ammonia-assisted hydrolysis technique,” *Electrochim. Acta*, vol. 88, pp.

639–643, 2013, doi: 10.1016/j.electacta.2012.10.146.

[22] D. Karageorgopoulos, E. Stathatos, and E. Vitoratos, “Thin ZnO nanocrystalline films for efficient quasi-solid state electrolyte quantum dot sensitized solar cells,” *J. Power Sources*, vol. 219, pp. 9–15, 2012, doi: 10.1016/j.jpowsour.2012.07.034.

[23] R. L. Z. Hoyer, K. P. Musselman, and J. L. Macmanus-Driscoll, “Research update: Doping ZnO and TiO₂ for solar cells,” *APL Mater.*, vol. 1, no. 6, 2013, doi: 10.1063/1.4833475.

[24] D. Darmawan, “Extraction and Characterization of Natural Dyes Applied to ZnO-based DSSC,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

[25] M. Giannouli, “Nanostructured ZnO, TiO₂, and Composite ZnO/TiO₂ Films for Application in Dye-Sensitized Solar Cells,” *ZnO Nanostructures Their Appl.*, vol. 2013, 2011, doi: 10.1201/b11518-10.

[26] B. Cerda, “Síntesis y caracterización de colorantes naturales para ser usados en celdas sensibilizadas por colorante Thesis · December 2014,” no. July, 2017, doi:

10.13140/RG.2.2.27054.20808.

[27] H. Muguerra *et al.*, “Electrodeposited ZnO nanowires as photoelectrodes in solid-state organic dye-sensitized solar cells,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 16, no. 16, pp. 7472–7480, 2014, doi: 10.1039/c3cp54210f.

[28] A. Syukron, R. A. Wahyuono, D. Sawitri, and D. D. Risanti, “The effect of paste preparation and annealing temperature of ZnO photoelectrode to dye-sensitized solar cells (DSSC) performance,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 896, pp. 183–186, 2014, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.896.183.

[29] A. Thankappan *et al.*, “Highly efficient betanin dye based ZnO and ZnO/Au Schottky barrier solar cell,” *Thin Solid Films*, vol. 583, no. 1, pp. 102–107, 2015, doi: 10.1016/j.tsf.2015.03.052.

[30] C. Zhang, Y. Xie, T. Bai, J. Hu, and J. Wang, “Cooperation of multifunction composite structures and fluorescein for photovoltaic performance-enhanced ZnO-based dye-sensitized solar cells,” *J. Power Sources*, vol. 297, pp. 16–22, 2015, doi: 10.1016/j.jpowsour.2015.07.092.

[31] B. Ilyassov, N. Ibrayev, and N. Nuraje, “Hierarchically

assembled nanostructures and their photovoltaic properties,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 40, pp. 885–889, 2015, doi: 10.1016/j.mssp.2015.07.087.

[32] B. S. Han, S. Caliskan, W. Sohn, M. Kim, J. K. Lee, and H. W. Jang, “Room Temperature Deposition of Crystalline Nanoporous ZnO Nanostructures for Direct Use as Flexible DSSC Photoanode,” *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 11, no. 1, 2016, doi: 10.1186/s11671-016-1437-2.

[33] G. S. Selopal *et al.*, “Metal-free organic dyes for TiO₂ and ZnO dye-sensitized solar cells,” *Sci. Rep.*, vol. 6, no. August 2015, pp. 1–12, 2016, doi: 10.1038/srep18756.

[34] J. T. D. Ty, N. Dannehl, D. Schlettwein, and H. Yanagi, “Hybrid organic - Inorganic solar cells with electrodeposited Al-doped zinc oxide,” *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 16, no. 4, pp. 3402–3406, 2016, doi: 10.1166/jnn.2016.12291.

[35] T. Mahmoudi, S. Seo, H. Y. Yang, W. Y. Rho, Y. Wang, and Y. B. Hahn, *Efficient bulk heterojunction hybrid solar cells with graphene-silver nanoparticles composite synthesized by microwave-assisted reduction*, vol. 28. Elsevier, 2016.

[36] L. F. G. Larsson *et al.*, “Application of zinc oxide in hybrid

solar cells using a P3HT and P3OT polymer junction as charge carrier,” *Mater. Res.*, vol. 22, pp. 1–5, 2019, doi: 10.1590/1980-5373-MR-2018-0820.

[37] M. K. M.U. Manzoor*, M.T.Z. Butt, M.S. Dar, M.H. Ashraf, T. Ahmad, “THE DEVELOPMENT AND CHARACTERIZATION OF MECHANICALLY EXFOLIATED GRAPHITE BASED COUNTER ELECTRODE FOR NATURAL DYE SENSITIZED SOLAR CELL (DSSC),” □□□□□□, vol. ث قفثق, no. ثقفثق, p. 2019, ثقفثق.

[38] K. S. Karimov *et al.*, “Electrochemical properties of Zn/orange dye aqueous solution/carbon cell,” *J. Power Sources*, vol. 155, no. 2, pp. 475–477, 2006, doi: 10.1016/j.jpowsour.2005.05.017.

[39] T. Yang *et al.*, “In situ growth of ZnO nanodots on carbon hierarchical hollow spheres as high-performance electrodes for lithium-ion batteries,” *J. Alloys Compd.*, vol. 735, pp. 1079–1087, 2018, doi: 10.1016/j.jallcom.2017.11.125.

[40] Z. Chen *et al.*, “Construction of hybrid hollow architectures by in-situ rooting ultrafine ZnS nanorods within porous carbon polyhedra for enhanced lithium storage properties,” *Chem. Eng. J.*, vol. 326, pp. 680–690, 2017, doi:

10.1016/j.cej.2017.06.009.

[41] Q. Zhang *et al.*, “All-Metal-Organic Framework-Derived Battery Materials on Carbon Nanotube Fibers for Wearable Energy-Storage Device,” *Adv. Sci.*, vol. 5, no. 12, 2018, doi: 10.1002/advs.201801462.

[42] A. Xia, X. Pu, Y. Tao, H. Liu, and Y. Wang, “Graphene oxide spontaneous reduction and self-assembly on the zinc metal surface enabling a dendrite-free anode for long-life zinc rechargeable aqueous batteries,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 481, no. December 2018, pp. 852–859, 2019, doi: 10.1016/j.apsusc.2019.03.197.

[43] J. Shi *et al.*, “An Ultrahigh Energy Density Quasi-Solid-State Zinc Ion Microbattery with Excellent Flexibility and Thermostability,” *Adv. Energy Mater.*, vol. 9, no. 37, pp. 1–9, 2019, doi: 10.1002/aenm.201901957.

[44] X. Xiao *et al.*, “High-performance solid-state Zn batteries based on a free-standing organic cathode and metal Zn anode with an ordered nano-architecture,” *Nanoscale Adv.*, vol. 2, no. 1, pp. 296–303, 2020, doi: 10.1039/c9na00562e.

[45] C. Li *et al.*, “An ultra-high endurance and high-

performance quasi-solid-state fiber-shaped Zn-Ag₂O battery to harvest wind energy,” *J. Mater. Chem. A*, vol. 7, no. 5, pp. 2034–2040, 2019, doi: 10.1039/c8ta10807b.

[46] T. Li, M. Li, H. Li, X. Zhou, and H. Zhao, “The construction of a novel rechargeable Zn(OH)₄²⁻ ion battery,” *Mater. Lett.*, vol. 273, p. 127989, 2020, doi: 10.1016/j.matlet.2020.127989.

[47] Y. Zhao *et al.*, “Achieving high capacity and long life of aqueous rechargeable zinc battery by using nanoporous-carbon-supported poly(1,5-naphthalenediamine) nanorods as cathode,” *Energy Storage Mater.*, vol. 28, no. March, pp. 64–72, 2020, doi: 10.1016/j.ensm.2020.03.001.

[48] T. Z. Qinghua Li, Jihuai Wu, Qunwei Tang, Zhang Lan, Pinjiang Li, “Application of Polymer Gel Electrolyte With Graphite Powder in Quasi-Solid-State Dye-Sensitized Solar Cells,” *Polym. Polym. Compos.*, vol. 16, no. 2, pp. 101–113, 2009, doi: 10.1002/pc.

[49] E. Guillén *et al.*, “ZnO-based dye solar cell with pure ionic-liquid electrolyte and organic sensitizer: The relevance of the dye-oxide interaction in an ionic-liquid medium,” *Phys. Chem. Chem. Phys.*, vol. 13, no. 1, pp. 207–213, 2011, doi:

10.1039/c0cp00507j.

[50] N. M. Gómez-Ortíz *et al.*, “Influence of dye chemistry and electrolyte solution on interfacial processes at nanostructured zno in dye-sensitized solar cells,” *J. Photochem. Photobiol. A Chem.*, vol. 264, pp. 26–33, 2013, doi: 10.1016/j.jphotochem.2013.04.020.

[51] A. Nikolakopoulou, D. Tasis, L. Sygellou, and P. Lianos, “Dispersion of graphene in organic solvents and their use for improving efficiency of dye- and quantum dot-sensitized solar cells,” *Electrochim. Acta*, vol. 139, pp. 54–60, 2014, doi: 10.1016/j.electacta.2014.06.154.

[52] 5 S. SHAH, 1 I. M. NOOR, 1 J. PITAWALA, 2 I. ALBINSON, 3 T. M. W. J. BANDARA, 4, 5 B. -E. MELLANDER, A. A. K. A. 1, and 1Centre, “Plasmonic effects of quantum size metal nanoparticles on dye-sensitized solar cell,” *Mater. Today Proc.*, vol. 3, no. 6, pp. S73–S79, 2017, doi: 10.1016/j.matpr.2016.01.010.

[53] R. Ruess, S. Haas, A. Ringleb, and D. Schlettwein, “Dye-sensitized solar cells with electrodeposited ZnO and Co(bpy)₃ redox electrolyte: Investigation of mass transport in the

electrolyte and interfacial charge recombination,” *Electrochim. Acta*, vol. 258, pp. 591–598, 2017, doi: 10.1016/j.electacta.2017.11.102.

[54] W. Zhang *et al.*, “Highly efficient polymer solar cells with PTB7-based narrow band-gap conjugated polyelectrolytes as cathode interlayers: Device performance dependence on the ionic pendants,” *Org. Electron.*, vol. 47, pp. 94–101, 2017, doi: 10.1016/j.orgel.2017.04.026.

[55] D. Zhou *et al.*, “A green route to a novel hyperbranched electrolyte interlayer for nonfullerene polymer solar cells with over 11% efficiency,” *Chem. Commun.*, vol. 54, no. 5, pp. 563–566, 2018, doi: 10.1039/c7cc08604k.

[56] X. Guo *et al.*, “Novel small-molecule zwitterionic electrolyte with ultralow work function as cathode modifier for inverted polymer solar cells,” *Org. Electron.*, vol. 59, no. March, pp. 15–20, 2018, doi: 10.1016/j.orgel.2018.04.036.

[57] A. A. Arbab, N. Mengal, I. A. Sahito, A. A. Memon, and S. H. Jeong, “An organic route for the synthesis of cationic porous graphite nanomaterial used as photocatalyst and electrocatalyst for dye-sensitized solar cell,” *Electrochim. Acta*, vol. 266, pp. 43–53, 2018, doi:

10.1016/j.electacta.2018.02.012.

[58] H. Sun, T. Kimura, T. Chiba, S. Mori, A. Khosla, and T. Yoshida, “ High Voltage Flexible ZnO Solar Cells Employing Bulky Organic Dye and $[\text{Co}(\text{bpy})_3]^{2+/3+}$ Redox Electrolyte ,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, no. 8, pp. B3194–B3200, 2018, doi: 10.1149/2.0251808jes.

[59] R. Ruess, T. H. Q. Nguyen, and D. Schlettwein, “Metal Complexes as Redox Shuttles in Dye-Sensitized Solar Cells Based on Electrodeposited ZnO: Tuning Recombination Kinetics and Conduction Band Energy,” *J. Electrochem. Soc.*, vol. 165, no. 4, pp. H3115–H3121, 2018, doi: 10.1149/2.0131804jes.

[60] H. C. Jin and J. H. Kim, “New small molecule electrolytes based on tosylate anion for organic solar cells,” *Mol. Cryst. Liq. Cryst.*, vol. 687, no. 1, pp. 47–52, 2019, doi: 10.1080/15421406.2019.1651051.

[61] S. Navaladian, B. Viswanathan, T. K. Varadarajan, and R. P. Viswanath, “Microwave-assisted rapid synthesis of anisotropic Ag nanoparticles by solid state transformation,” *Nanotechnology*, vol. 19, no. 4, 2008, doi: 10.1088/0957-

4484/19/04/045603.

[62] S. Kundu, K. Wang, and H. Liang, "Size-controlled synthesis and self-assembly of silver nanoparticles within a minute using microwave irradiation," *J. Phys. Chem. C*, vol. 113, no. 1, pp. 134–141, 2009, doi: 10.1021/jp808292s.

[63] Á. B. Sifontes *et al.*, "Preparation of silver nanoparticles in the absence of polymer stabilizers," *Quim. Nova*, vol. 33, no. 6, pp. 1266–1269, 2010, doi: 10.1590/S0100-40422010000600009.

[64] S. . Kottmann, J. P.; Martin, O. J. F.; Smith, D. R.; Schultz, "No Title," *Phys. Rev. B*, vol. 2, no. 235402., p. 64, 2001.

[65] A. V. . Mohanty, J.; Palit, D.; Shastri, L. V.; Sapre, "No Title," *Proc. Indian Acad. Sci.*, no. 112, p. 63, 2000.

[66] S. W. Chook *et al.*, "Antibacterial performance of Ag nanoparticles and AgGO nanocomposites prepared via rapid microwave-assisted synthesis method," *Nanoscale Res. Lett.*, vol. 7, pp. 1–7, 2012, doi: 10.1186/1556-276X-7-541.

[67] K. Fuku, R. Hayashi, S. Takakura, T. Kamegawa, K. Mori, and H. Yamashita, "The synthesis of size- and color-controlled silver nanoparticles by using microwave heating

and their enhanced catalytic activity by localized surface plasmon resonance,” *Angew. Chemie - Int. Ed.*, vol. 52, no. 29, pp. 7446–7450, 2013, doi: 10.1002/anie.201301652.

[68] Y. Han, Z. Luo, L. Yuwen, J. Tian, X. Zhu, and L. Wang, “Synthesis of silver nanoparticles on reduced graphene oxide under microwave irradiation with starch as an ideal reductant and stabilizer,” *Appl. Surf. Sci.*, vol. 266, pp. 188–193, 2013, doi: 10.1016/j.apsusc.2012.11.132.

[69] Q. Li and P. Hai, “Rapid microwave-assisted synthesis of silver decorated-reduced graphene oxide nanoparticles with enhanced photocatalytic activity under visible light,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 22, no. 1, pp. 16–20, 2014, doi: 10.1016/j.mssp.2014.02.013.

[70] Foliatini, Y. Yulizar, and M. A. E. Hafizah, “The synthesis of alginate-capped silver nanoparticles under microwave irradiation,” *J. Math. Fundam. Sci.*, vol. 47, no. 1, pp. 31–50, 2015, doi: 10.5614/j.math.fund.sci.2015.47.1.3.

[71] G. Dzido, P. Markowski, A. Małachowska-Jutcz, K. Prusik, and A. B. Jarzębski, “Rapid continuous microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles to achieve very high

productivity and full yield: from mechanistic study to optimal fabrication strategy,” *J. Nanoparticle Res.*, vol. 17, no. 1, 2015, doi: 10.1007/s11051-014-2843-y.

[72] O. S. Oluwafemi, T. Mochochoko, A. J. Leo, S. Mohan, D. N. Jumbam, and S. P. Songca, “Microwave irradiation synthesis of silver nanoparticles using cellulose from *Eichhornia crassipes* plant shoot,” *Mater. Lett.*, vol. 185, pp. 576–579, 2016, doi: 10.1016/j.matlet.2016.08.116.

[73] S. Himagirish Kumar, C. Prasad, K. Deepa, K. Sreenivasulu, and N. V. V. Jyothi, “Competitive rapid microwave-assisted biogenic synthesis of spherical silver nanoparticles using an aqueous leaf extract of *Lepidagathis cristata*: Characterization and antimicrobial studies,” *J. Appl. Pharm. Sci.*, vol. 8, no. 6, pp. 124–131, 2018, doi: 10.7324/JAPS.2018.8616.

[74] M. Eshghi, H. Vaghari, Y. Najian, M. J. Najian, H. Jafarizadeh-Malmiri, and A. Berenjian, “Microwave-assisted green synthesis of silver nanoparticles using *Juglans regia* leaf extract and evaluation of their physico-chemical and antibacterial properties,” *Antibiotics*, vol. 7, no. 3, 2018, doi: 10.3390/antibiotics7030068.

- [75] M. Mohammadlou, H. Jafarizadeh-Malmiri, and H. Maghsoudi, "Hydrothermal green synthesis of silver nanoparticles using Pelargonium/Geranium leaf extract and evaluation of their antifungal activity," *Green Process. Synth.*, vol. 6, no. 1, pp. 31–42, 2017, doi: 10.1515/gps-2016-0075.
- [76] M. Torabfam and H. Jafarizadeh-Malmiri, "Microwave-enhanced silver nanoparticle synthesis using chitosan biopolymer: Optimization of the process conditions and evaluation of their characteristics," *Green Process. Synth.*, vol. 7, no. 6, pp. 530–537, 2018, doi: 10.1515/gps-2017-0139.
- [77] D. lin Su, P. jun Li, M. Ning, G. yang Li, and Y. Shan, "Microwave assisted green synthesis of pectin based silver nanoparticles and their antibacterial and antifungal activities," *Mater. Lett.*, vol. 244, pp. 35–38, 2019, doi: 10.1016/j.matlet.2019.02.059.
- [78] M. Torras and A. Roig, "From Silver Plates to Spherical Nanoparticles: Snapshots of Microwave-Assisted Polyol Synthesis," *ACS Omega*, vol. 5, no. 11, pp. 5731–5738, 2020, doi: 10.1021/acsomega.9b03748.
- [79] V. Kumar, J. H. Kim, and M. K. Sunkara, "Gas phase

production of metal oxide nanowires and nanoparticles using a microwave plasma reactor,” *AIChE Annu. Meet. Conf. Proc.*, pp. 17750–17754, 2008.

[80] J. Yao, Y.-C. Chang, H. Mei, J. Cheng, S. (Shizhuo) Yin, and C. Luo, “Rapid ZnO nanopillar array growth by microwave assisted heating,” *Photonic Fiber Cryst. Devices Adv. Mater. Innov. Device Appl. IV*, vol. 7781, p. 778116, 2010, doi: 10.1117/12.862238.

[81] Z. Zhou, C. Zhan, Y. Wang, Y. Su, Z. Yang, and Y. Zhang, “Rapid mass production of ZnO nanowires by a modified carbothermal reduction method,” *Mater. Lett.*, vol. 65, no. 5, pp. 832–835, 2011, doi: 10.1016/j.matlet.2010.12.032.

[82] S. M. Mahpeykar, J. Koohsorkhi, and H. Ghafoori-Fard, “Ultra-fast microwave-assisted hydrothermal synthesis of long vertically aligned ZnO nanowires for dye-sensitized solar cell application,” *Nanotechnology*, vol. 23, no. 16, 2012, doi: 10.1088/0957-4484/23/16/165602.

[83] M. C. Akgun, A. Afal, and H. E. Unalan, “Hydrothermal zinc oxide nanowire growth with different zinc salts,” *J. Mater. Res.*, vol. 27, no. 18, pp. 2401–2407, 2012, doi: 10.1557/jmr.2012.258.

- [84] J. H. Cho *et al.*, “Microwave transmission characteristics of ZnO nanowire,” *Electron. Lett.*, vol. 48, no. 17, pp. 1073–1074, 2012, doi: 10.1049/el.2012.0970.
- [85] L. Liu, K. Hong, X. Ge, D. Liu, and M. Xu, “Controllable and rapid synthesis of long ZnO nanowire arrays for dye-sensitized solar cells,” *J. Phys. Chem. C*, vol. 118, no. 29, pp. 15551–15555, 2014, doi: 10.1021/jp412004p.
- [86] X. Ge, K. Hong, J. Zhang, L. Liu, and M. Xu, “A controllable microwave-assisted hydrothermal method to synthesize ZnO nanowire arrays as recyclable photocatalyst,” *Mater. Lett.*, vol. 139, pp. 119–121, 2015, doi: 10.1016/j.matlet.2014.10.058.
- [87] K. Subannajui, “Super-fast synthesis of ZnO nanowires by microwave air-plasma,” *Chem. Commun.*, vol. 52, no. 15, pp. 3195–3198, 2016, doi: 10.1039/c5cc09051b.
- [88] F. Solis-Pomar *et al.*, “Rapid synthesis and photocatalytic activity of ZnO nanowires obtained through microwave-assisted thermal decomposition,” *Ceram. Int.*, vol. 42, no. 16, pp. 18045–18052, 2016, doi: 10.1016/j.ceramint.2016.08.084.

- [89] B. J. Lee, S. Il Jo, and G. H. Jeong, "Synthesis of ZnO Nanomaterials Using Low-Cost Compressed Air as Microwave Plasma Gas at Atmospheric Pressure," *Nanomaterials*, vol. 125, no. 10, 2019, doi: doi:10.3390/nano9070942.
- [90] S. Nasih, A. Dloo, G. El Hallani, N. Fazouan, E. H. Atmani, and A. Liba, "The effects of thermal power and deposition time on the structural characteristics of ZnO nanorods and their optical properties for photovoltaic applications," *Appl. Phys. A*, vol. 126, no. 9, p. 682, Sep. 2020, doi: 10.1007/s00339-020-03821-x.
- [91] R. R. Nigmatullin and S. O. Nelson, "Recognition of the 'fractional' kinetics in complex systems: Dielectric properties of fresh fruits and vegetables from 0.01 to 1.8 GHz," *Signal Processing*, vol. 86, no. 10, pp. 2744–2759, 2006, doi: 10.1016/j.sigpro.2006.02.018.
- [92] S. Gorinstein *et al.*, "Some analytical assays for the determination of bioactivity of exotic fruits," *Phytochem. Anal.*, vol. 21, no. 4, pp. 355–362, 2010, doi: 10.1002/pca.1207.
- [93] L. L. Díaz-Muñoz, A. Bonilla-Petriciolet, H. E. Reynel-Ávila, and D. I. Mendoza-Castillo, "Sorption of heavy metal ions from aqueous solution using acid-treated avocado kernel

seeds and its FTIR spectroscopy characterization,” *J. Mol. Liq.*, vol. 215, pp. 555–564, 2016, doi: 10.1016/j.molliq.2016.01.022.

[94] F. D. Krumreich *et al.*, “Avocado Oil Incorporated in Ultrafine Zein Fibers by Electrospinning,” *Food Biophys.*, vol. 14, no. 4, pp. 383–392, 2019, doi: 10.1007/s11483-019-09587-x.

[95] A. E. Adebayo *et al.*, “Biosynthesis of silver, gold and silver–gold alloy nanoparticles using *Persea americana* fruit peel aqueous extract for their biomedical properties,” *Nanotechnol. Environ. Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2019, doi: 10.1007/s41204-019-0060-8.

[96] I. Fukumoto, E. Nakamura, and Y. Kanda, “Fabrication of composite material using bagasse ash and carbonized bagasse by spark plasma sintering,” *Nihon Kikai Gakkai Ronbunshu, A Hen/Transactions Japan Soc. Mech. Eng. Part A*, vol. 78, no. 786, pp. 201–212, 2012, doi: 10.1299/kikaia.78.201.

[97] D. Volpati *et al.*, “Physical vapor deposited thin films of lignins extracted from sugar cane bagasse: Morphology,

electrical properties, and sensing applications,” *Biomacromolecules*, vol. 12, no. 9, pp. 3223–3231, 2011, doi: 10.1021/bm200704m.

[98] T. Adinaveen, L. J. Kennedy, J. J. Vijaya, and G. Sekaran, “Studies on structural, morphological, electrical and electrochemical properties of activated carbon prepared from sugarcane bagasse,” *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 19, no. 5, pp. 1470–1476, 2013, doi: 10.1016/j.jiec.2013.01.010.

[99] N. A. Abdelwahab and N. Shukry, “Synthesis, characterization and antimicrobial properties of grafted sugarcane bagasse/silver nanocomposites,” *Carbohydr. Polym.*, vol. 115, pp. 276–284, 2015, doi: 10.1016/j.carbpol.2014.08.052.

[100] E. D. Alvarez *et al.*, “Electrical, thermal and electrochemical properties of disordered carbon prepared from palygorskite and cane molasses,” *J. Solid State Chem.*, vol. 246, pp. 404–411, 2017, doi: 10.1016/j.jssc.2016.09.024.

[101] M. Kurniati, D. Nurhayati, and A. Maddu, “Study of Structural and Electrical Conductivity of Sugarcane Bagasse-Carbon with Hydrothermal Carbonization,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 58, no. 2, p. 012049, Mar. 2017, doi:

10.1088/1755-1315/58/1/012049.

[102] Y. H. Jiang *et al.*, “Characteristics of nitrogen and phosphorus adsorption by Mg-loaded biochar from different feedstocks,” *Bioresour. Technol.*, vol. 276, pp. 183–189, 2019, doi: 10.1016/j.biortech.2018.12.079.

[103] F. N. Jiménez-García, A. M. Restrepo-Franco, and L. F. Mulcúe-Nieto, “Estado de la investigación en energía en Colombia: una mirada desde los grupos de investigación,” *Rev. Fac. Ing.*, vol. 28, no. 52, pp. 9–26, 2019, doi: 10.19053/01211129.v28.n52.2019.9651.

[104] O. Edenhofer *et al.*, “Renewable energy sources and climate change mitigation: Special report of the intergovernmental panel on climate change,” *Renew. Energy Sources Clim. Chang. Mitig. Spec. Rep. Intergov. Panel Clim. Chang.*, pp. 1–1075, 2011, doi: 10.1017/CBO9781139151153.

[105] “Cambio climático: Perfil de resultados.” [Online]. Available:

<https://www.bancomundial.org/es/results/2013/04/13/climate-change-results-profile>. [Accessed: 08-Sep-2020].

[106] W. Cai *et al.*, “ENSO and greenhouse warming,” *Nat.*

Clim. Chang., vol. 5, no. 9, pp. 849–859, 2015, doi: 10.1038/nclimate2743.

[107] J. D. C. C. A. F. C. CERÓN, *EL IMPACTO EN EL MEDIO AMBIENTE TRAS EL POST-CONSUMO DE PILAS DOMÉSTICAS*. Cali, 2018.

[108] UPME, “Plan Energetico Nacional 2020-2050 (UPME),” p. 83, 2019.

[109] T. K. TODOROV, “PREPARACIÓN Y ESTUDIO DE PELÍCULAS DELGADAS CON APLICACIONES FOTOVOLTAICAS.” p. 16, 2008.

[110] S. C. Adriano Zecchina, *The Development of Catalysis: A History of Key Processes*. .

[111] S. Ramos, “Fabricación y caracterización de celdas fotovoltaicas de Perovskita de nueva composición,” *Univ. Sevilla*, vol. 1, pp. 1–42, 2018.

[112] R. J. Naumann, *Introduction to the physics and chemistry of materials*. CRC Press, 2009.

[113] J. Lorenzilla, M. Lizbeth, C. Blas, E. Cañeda, and M. Lozano, “Metales pesados de las Pilas Zinc-Carbón (VENENO PARA EL AMBIENTE),” *2do Congr. Nac. MICA 2015*, pp. 55–

57, 2015.

[114] CARLOS ALBERTO AYALA MARTINEZ, “PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA RECUPERACIÓN DE LAS PILAS ALCALINAS Y ZINC-CARBONO,” *UPTC*, vol. 1, no. 1, p. 29, 2017.

[115] J. M. Otón Sánchez and I. Ojeda, “Pilas y acumuladores comerciales (I): sistemas primarios,” *Mundo Electrónico*, vol. 146, no. I, pp. 154–162, 1984.

[116] A. M. B. Toscano, “Estudio de las baterías para aplicaciones fotovoltaicas Autor:,” 2018.

[117] “Disoluciones de electrolitos. Equilibrios iónicos.” [Online]. Available: <http://facultatciencies.uib.cat/prof/juan.frau/qfl/teoria/tema15.pdf>.

[118] “Electromagnetic Spectrum.” [Online]. Available: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/ems3.html>. [Accessed: 03-Mar-2020].

[119] “Resonancia del plasmón de la superficie (RPS).” [Online]. Available: <https://nuevatecnologiasymateriales.com/resonancia-del->

plasmon-de-la-superficie-rps-propiedades-optoelectronicas/.
[Accessed: 03-Mar-2020].

[120] D. G. Thomas, “The exciton spectrum of zinc oxide,” *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 15, no. 1–2, pp. 86–96, Aug. 1960, doi: 10.1016/0022-3697(60)90104-9.

[121] R. J. Collins and D. A. Kleinman, “Infrared reflectivity of zinc oxide,” *J. Phys. Chem. Solids*, vol. 11, no. 3–4, pp. 190–194, Oct. 1959, doi: 10.1016/0022-3697(59)90213-6.

[122] †,§ Quanchang Li, †,§ Vageesh Kumar, †,§ Yan Li, †,§ Haitao Zhang, ‡,§ and Tobin J. Marks, and †,§ Robert P. H. Chang*, “Fabrication of ZnO Nanorods and Nanotubes in Aqueous Solutions,” 2005, doi: 10.1021/CM048144Q.

[123] D. A. Guzman Embus, “Amplificación de la señal Raman de ADN genómico utilizando microvaras de ZnO,” p. 72, 2015.

[124] H. Morkoç and U. Özgür, *Zinc oxide: fundamentals, materials and device technology*. Wiley-VCH, 2009.

[125] G. R. S *et al.*, “The synthesis of alginate-capped silver nanoparticles under microwave irradiation,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 16, no. 1, pp. 7446–7450, 2015, doi: 10.1016/j.apsusc.2012.11.132.

[126] K. L. Kelly, E. Coronado, L. L. Zhao, and G. C. Schatz, "The optical properties of metal nanoparticles: The influence of size, shape, and dielectric environment," *J. Phys. Chem. B*, vol. 107, no. 3, pp. 668–677, 2003, doi: 10.1021/jp026731y.

[127] B. M. I. Van Der Zande, M. R. Böhmer, L. G. J. Fokkink, and C. Schönenberger, "Colloidal dispersions of gold rods: Synthesis and optical properties," *Langmuir*, vol. 16, no. 2, pp. 451–458, 2000, doi: 10.1021/la9900425.

[128] J. J. Mock, M. Barbic, D. R. Smith, D. A. Schultz, and S. Schultz, "Shape effects in plasmon resonance of individual colloidal silver nanoparticles," *J. Chem. Phys.*, vol. 116, no. 15, pp. 6755–6759, 2002, doi: 10.1063/1.1462610.

[129] Q. D. Zhang *et al.*, "An electroactive conjugated oligomer for a direct electrochemical DNA sensor," *Synth. Met.*, vol. 162, no. 17–18, pp. 1496–1502, 2012, doi: 10.1016/j.synthmet.2012.07.016.

[130] P. I. Reyes *et al.*, "A ZnO Nanostructure-Based Quartz Crystal Microbalance Device for Biochemical Sensing," *IEEE Sens. J.*, vol. 9, no. 10, pp. 1302–1307, Oct. 2009, doi: 10.1109/JSEN.2009.2030250.

[131] A. Phuruangrat, T. Thongtem, B. Kuntalue, and S. Thongtem, "Microwave-assisted synthesis and characterization of roselike and flower-like zinc oxide nanostructures," *J. Ovonic Res.*, vol. 7, no. 6, pp. 107–113, 2011, doi: 10.1016/j.matlet.2008.10.008.

8. Anexos

8.1 Técnicas de caracterización

8.1.1 Espectroscopia FTIR

La espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier es una técnica que puede analizar muestras en estado líquido, sólido y gaseoso. Al incidir un haz de luz infrarroja sobre la muestra, esta absorbe parte de la luz incidente, la luz infrarroja restante corresponde a la absorbida por los compuestos presentes en las muestras analizadas.

Su funcionamiento interno se da, gracias a la interacción de la luz infrarroja incidente sobre un esquema de prismas o rejillas de difracción, luego se realiza un escáner del intervalo de frecuencias correspondientes relacionando con la intensidad los puntos donde se presenta el fenómeno de absorción. Su gran ventaja es que, al medir las frecuencias de manera simultánea, obtiene mayor sensibilidad sobre un escaneo individual de las frecuencias.

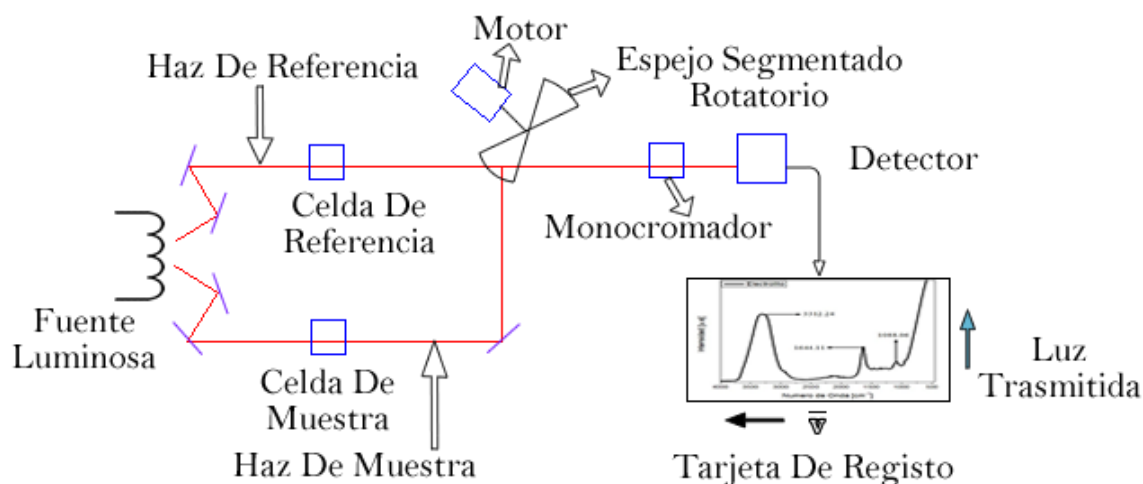


Figura 29. Funcionamiento de un espectrómetro infrarrojo

8.1.2 Espectrofotometría Uv. Vis

Al incidir un haz de luz con determinada energía ($h\nu$) sobre una muestra se causa una respuesta interna del material analizado ya que parte de esa energía emitida es absorbida por los electrones internos presentes, de esta forma se puede medir la cantidad porcentual de energía transmitida y una cantidad porcentual de energía absorbida, representando la transmitancia (T) y la absorbancia (A) respectivamente.

Los cambios presentes en los espectros de absorbancia y transmitancia se deben a las transiciones electrónicas entre las bandas presentes analizadas, la banda de valencia (BV) y la banda de conducción (BC). Cabe recordar que la diferencia energética presente en los materiales entre su banda de valencia y la banda de conducción, representa la banda de brecha prohibida o bandgap [112].

La relación entre la absorbancia y la transmitancia viene dada por la ecuación 1. De la siguiente forma:

$$A = \text{Log}(T) \text{ Ecuación 1.}$$

Donde

$$T = I/I_0, \text{ Ecuación 2}$$

De tal forma que:

$$A = 2 - \text{Log} (\%T) \text{ Ecuación 3}$$

Así, al tener los valores de absorbancia, el coeficiente de absorción se relaciona por medio de la ecuación 3, de la siguiente manera:

$$\alpha = 2,303 A/d \text{ Ecuación 4}$$

Donde (A) es la absorbancia y (d) el espesor de la muestra.

De este modo la aproximación de tauc que permite relacionar en ancho de banda E_g , el coeficiente de absorción y la energía del fotón incidente, por medio de la ecuación 5, de la siguiente manera:

$$\alpha h\nu = B (h\nu - E_g)^m \text{ Ecuación 5}$$

De esta manera la aproximación de tauc se convierte en la ecuación 6, mostrada a continuación:

$$2,303/d A h\nu = B (h\nu - E_g)^m \text{ Ecuación 6}$$

Los valores de m varían respecto al tipo de transición, representados en la tabla 2. Al final se realiza una extrapolación lineal, graficando $((A h\nu)^2 \text{ vs. } h\nu)$ y al analizar el corte con el eje de la energía fotónica se encuentra el valor aproximado de bandgap para el óxido de zinc (ZnO)[123].

Tabla 12.Valores para m, respecto al tipo de transición

Valores de m	Tipo transición
1 / 2	Directa permitida
3 / 2	Directa prohibida
3	Indirecta prohibida

8.1.3 Microscopia Electrónica de Barrido SEM

El microscopio electrónico de barrido (SEM), permite analizar la interacción de un haz de electrones emitidos por un filamento mediante un campo eléctrico de 12.5 y 30.0 Kilovoltios y mediante la interacción del haz de electrones por medio electroimanes en forma de lentes, se genera un impacto directo sobre la muestra analizada. De esta forma depende de la sensibilidad de la muestra analizada, el campo eléctrico puede variar de diferentes formas, disminuyendo el campo, por ejemplo, para muestras biológicas y para muestras conductoras aumentando el campo eléctrico.

La preparación de las muestras varía de acuerdo con el material analizado, las muestras no conductoras deben ser recubiertas por una película delgada de un material conductor. De esta manera los resultados se presentan en forma de imágenes digitales que logran resoluciones de acuerdo con la capacidad del equipo, los últimos equipos pueden llegar a brindar resoluciones de aproximadamente 20 nm.

8.1.4 Espectroscopia de Impedancia Electroquímica

La espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS), es una técnica versátil de medición de propiedades electroquímicas que al utilizar frecuencias específicas pueden detectar señales gracias a la interacción entre un potencial o una corriente de potencial elevado con la muestra analizada, activando sus propiedades electroquímicas. Los resultados se brindan en forma de un temporal con alta precisión ya que las respuestas se comportan de una forma indefinidamente estable.

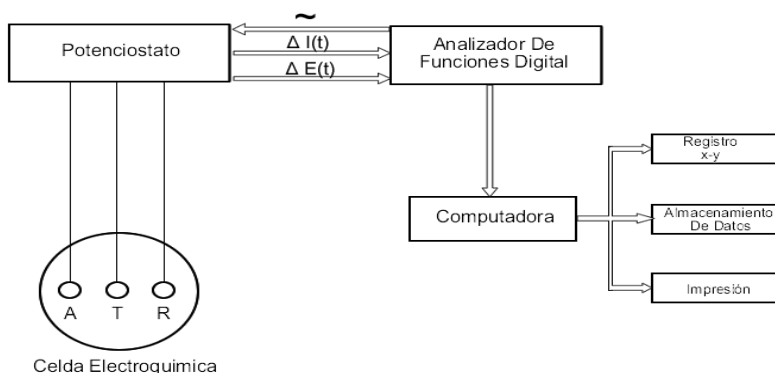


Figura 30. Diagrama de funcionamiento de un potenciostato

8.2 Curvas de voltaje individual para pilas fabricadas

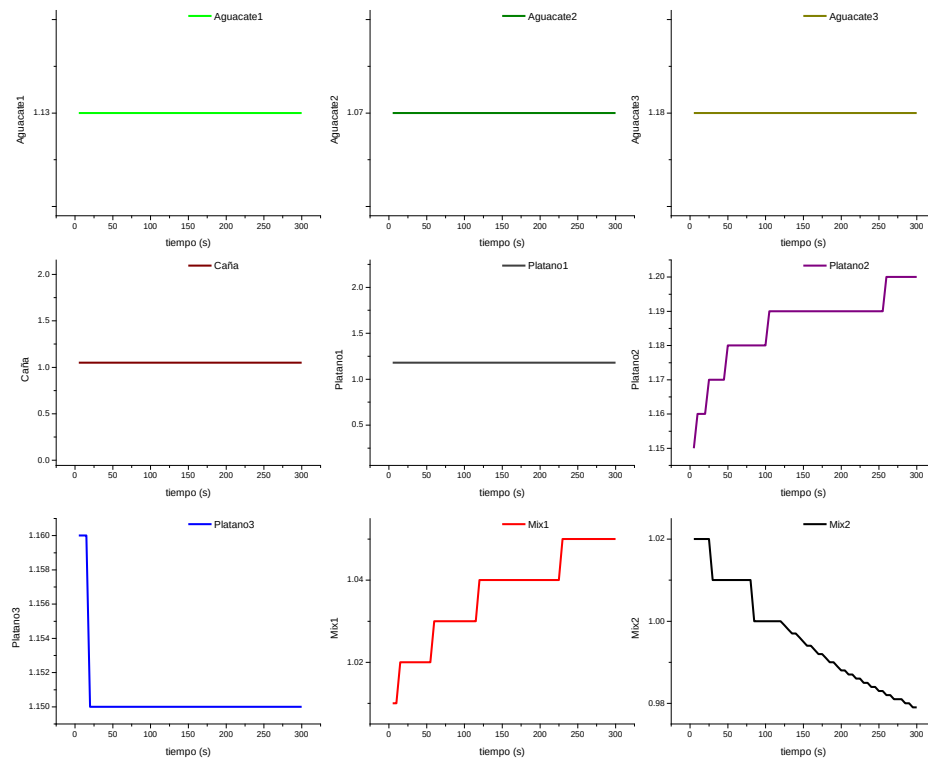


Figura 31. Curvas de Voltaje para cada pila orgánica

8.3 Productos Asociados

Artículo en revisión por parte de los tutores

SÍNTESIS MASIVA DE NANOALAMBRES DE ZNO, ASISTIDA POR MICROONDAS

F. N. Rosero-Rodríguez, R.A. Zambrano-Carvajal, C. E. Pachón-Pacheco, N. V. Naranjo-*

Castaño, E. Restrepo-Parra and P. J. Arango-Arango

Laboratorio de Física del Plasma (LAFIP),

Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Manizales-Caldas, Colombia

RESUMEN

Se realizó síntesis de nanoalambres de óxido de zinc por irradiación con microondas. Se tomó polvo de óxido de zinc y grafito como agente de combustión, se mezclaron en relación 1 a 1 en masa hasta obtener una mezcla homogénea y se irradió entre 30 y 150 segundos. Las muestras resultantes se caracterizaron por microscopia electrónica de barrido evidenciando diámetros variables de 26,29 a 187,30 nm. La difracción de rayos x muestra una relación de parámetros c/a correspondiente a 1.61 y la existencia de la fase hexagonal wurtzita. El análisis ~~Uv~~-Vis permitió determinar un ~~bandgap~~ de 3.36 ~~ev~~. Además, se encuentra un modo vibracional a los 431 cm^{-1} .

Certificado primera etapa del proceso patente



Asistencia a eventos

